



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



"EFECTO DE LA ADICIÓN DEL SUERO DE LECHE SOBRE LAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y VIDA ÚTIL DE UNA
BEBIDA FERMENTADA ALCOHÓLICA A BASE DE MAÍZ
MORADO (*Zea mays*)"

Jesús Alexander Condori Ticona

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Asesor: Mtro. Carlos Ricardo Hanco Cervantes



JULIACA, PERÚ

2025





UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



"EFECTO DE LA ADICIÓN DEL SUERO DE LECHE SOBRE LAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y VIDA ÚTIL DE UNA
BEBIDA FERMENTADA ALCOHÓLICA A BASE DE MAÍZ
MORADO (*Zea mays*)"

Jesus Alexander Condori Ticona

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Asesor: Mtro. Carlos Ricardo Hanco Cervantes



Juliaca - 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“EFECTO DE LA ADICIÓN DEL SUERO DE LECHE SOBRE LAS
CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y VIDA ÚTIL DE UNA
BEBIDA FERMENTADA ALCOHÓLICA A BASE DE MAÍZ
MORADO (*Zea mays*)”**

Jesus Alexander Condori Ticona

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Asesor: Mtro. Carlos Ricardo Hanco Cervantes

Juliaca, 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Condori, J. (2025). *Efecto de la adición del suero de leche sobre las características fisicoquímicas y vida útil de una bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado (Zea mays)*. [Tesis de pregrado en ingeniería, Universidad Nacional de Juliaca]. Juliaca.

AUTOR: Jesus Alexander Condori Ticona

TÍTULO: *Efecto de la adición del suero de leche sobre las características fisicoquímicas y vida útil de una bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado (Zea mays)*.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2025

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (138 pp)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias - Universidad Nacional de Juliaca.

CÓDIGO: 03-000047-03/C76

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: Mtro. Carlos Ricardo Hanco Cervantes

PALABRAS CLAVES: Bebida fermentada, características fisicoquímicas, fermentación alcohólica, suero de leche, maíz morado.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
INDUSTRIALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**“EFECTO DE LA ADICIÓN DEL SUERO DE LECHE
SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y
VIDA ÚTIL DE UNA BEBIDA FERMENTADA
ALCOHÓLICA A BASE DE MAÍZ MORADO (*Zea mays*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Presentada por:

JESUS ALEXANDER CONDORI TICONA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

D.Sc. Elizabeth Huanatico Suarez

PRESIDENTE DE JURADO



M.Sc. Lenin Quille Quille

JURADO (secretario)



2° MIEMBRO

M.Sc. Jose Manuel Prieto

JURADO (Vocal)



3° MIEMBRO



**Mtro. Carlos Ricardo Hanco Cervantes
ASESOR DE TESIS**

JESUS ALEXANDER CONDORI TICONA

TESIS FINAL_ Jesus Alexander v3.pdf

Universidad Nacional de Juliaca



Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:546193942

Fecha de entrega

14 ene 2026, 12:05 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

14 ene 2026, 12:10 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS FINAL_ Jesus Alexander v3.pdf

Tamaño del archivo

3.0 MB

135 páginas

36.765 palabras

186.121 caracteres




9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



.....
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
Facultad de Ingeniería de Procesos Industriales
Unidad de Investigación

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres, Mauricio y Juana, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida, brindándome respaldo incondicional, comprensión y aliento permanente durante todo mi proceso de aprendizaje. Les agradezco su comprensión y el ejemplo que siempre me han brindado, pues gracias a ellos nació en mí el interés por aprender y por la ciencia.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento a quienes hicieron posible la realización del presente trabajo de investigación.

A Dios, por brindarme la fortaleza y constancia necesarias para culminar este proceso académico.

A la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ) y a la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias (EPIIA), por la formación y el soporte académico recibidos.

A los miembros del jurado, por sus observaciones y aportes académicos.

A mi asesor de tesis, Mtro. Carlos Ricardo Hanco Cervantes, por su orientación y acompañamiento durante el desarrollo del estudio.

Finalmente, a mi familia por el apoyo permanente; así como a todas las personas que contribuyeron, directa o indirectamente, a la culminación de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

	PÁG.
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE ANEXOS	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.1.1 PROBLEMA GENERAL	2
1.1.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	2
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	3
1.3.1 HIPÓTESIS GENERAL	3
1.3.2 HIPÓTESIS ESPECIFICA	3
1.4 JUSTIFICACIÓN	3
1.4.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	3
1.4.2 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	4
1.4.3 JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	4
1.4.4 JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL.....	4

CAPÍTULO II	REVISIÓN DE LA LITERATURA	5
2.1	ANTECEDENTES.....	5
2.2	BASES TEÓRICAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
2.2.1	SUERO DE LECHE.....	7
2.2.2	CHICHA DE JORA Y FERMENTACIÓN DEL MAÍZ MORADO.....	9
2.2.3	FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA Y PARÁMETROS DE CONTROL.....	13
2.2.4	ANÁLISIS FISCOQUÍMICO.....	14
2.2.5	VIDA ÚTIL Y ESTABILIDAD DE BEBIDAS FERMENTADAS.....	17
CAPÍTULO III	MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1	ÁMBITO DE ESTUDIO	21
3.2	MÉTODOS Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	22
3.4	MATERIALES	22
3.4.1	DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA BEBIDA FERMENTADA.....	23
3.4.2	FORMULACIÓN COMPOSICIONAL DEL MOSTO	26
3.5	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL POR OBJETIVO.....	27
	<input type="checkbox"/> DETERMINACIÓN DE ACIDEZ TITULABLE	28
	<input type="checkbox"/> DETERMINACIÓN DE PH	29
	<input type="checkbox"/> DETERMINACIÓN DE GRADOS BRIX	29
	<input type="checkbox"/> DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD.....	29
	<input type="checkbox"/> DETERMINACIÓN DE COLOR	29
	<input type="checkbox"/> DETERMINACIÓN DE DENSIDAD.....	30
	<input type="checkbox"/> DETERMINACIÓN DE PH	35
	<input type="checkbox"/> DETERMINACIÓN DE ACIDEZ TITULABLE	35
	<input type="checkbox"/> EL CONTENIDO ALCOHÓLICO.....	36
3.6	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	37
3.7	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	39
3.8	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	39
CAPÍTULO IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40

4.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA BEBIDA FERMENTADA ALCOHÓLICA DE MAÍZ MORADO CON DIFERENTES PORCENTAJES DE SUERO DE LECHE	40
4.1.1	ACIDEZ TITULABLE	40
4.1.2	pH.....	42
4.1.3	°BRIX.....	45
4.1.4	VISCOSIDAD.....	47
4.1.5	COLOR (CIELAB)	50
4.1.6	DENSIDAD DE MASA RESIDUAL	53
4.2	PRODUCCIÓN ALCOHÓLICA DE LA BEBIDA FERMENTADA DE MAÍZ MORADO SEGÚN TIEMPO DE FERMENTACIÓN Y PORCENTAJE DE SUERO LÁCTEO.....	55
4.2.1	ANÁLISIS SENSORIAL	59
4.3	EVALUACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LA BEBIDA FERMENTADA DE MAÍZ MORADO CON Y SIN SUERO LÁCTEO DURANTE 42 DÍAS DE ALMACENAMIENTO.....	62
4.3.1	EVOLUCIÓN DEL pH COMO INDICADOR DE VIDA ÚTIL.....	62
4.3.2	EVOLUCIÓN DE LA ACIDEZ TITULABLE DURANTE EL ALMACENAMIENTO	69
4.3.3	EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO ALCOHÓLICO DURANTE EL ALMACENAMIENTO	72
4.3.4	ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS	75
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		77
5.1	CONCLUSIONES	77
5.2	RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición del suero de leche.....	9
Tabla 2: Contenidos en vitaminas del suero de leche.....	9
Tabla 3: Propiedades y aspectos nutricionales de la chicha de Jora.....	11
Tabla 4: Tipos de vida útil en bebidas fermentadas	20
Tabla 5: Formulación de tratamientos experimentales.....	26
Tabla 6: Diseño en Bloques Completamente al Azar (DBCA).....	27
Tabla 7: Diseño factorial 4 x 6	32
Tabla 8: Matriz de diseño Vida útil.....	34
Tabla 9: Operacionalización de variables.....	38
Tabla 10: Acidez titulable promedio (% ácido láctico) durante la fermentación.....	40
Tabla 11: pH promedio durante la fermentación.....	43
Tabla 12: °Brix promedio durante la fermentación.....	45
Tabla 13: Viscosidad promedio (cP) durante la fermentación	47
Tabla 14: Evolución del color (CIELAB) de la bebida fermentada según día y porcentaje de lactosuero	51
Tabla 15: Densidad de masa residual (g/mL).....	53
Tabla 16: Grados alcohólicos estimados (% v/v)	55
Tabla 17: Parámetros cinéticos y estimación de vida útil (Modelos de orden 0, 1 y 2, pHcrit = 4.13)	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de flujo general del proceso	23
Figura 2: Diagrama de flujo para el cumplimiento del objetivo específico 1.	31
Figura 3: Diagrama de flujo para la obtención de datos de la vida útil de la bebida fermentada.	36
Figura 4: Intervalos de confianza (95%) de la acidez según porcentaje de suero adicionado.....	41
Figura 5: Acidez titulable promedio durante la fermentación.....	41
Figura 6: Intervalos de confianza del pH según porcentaje de suero	43
Figura 7: pH promedio durante la fermentación	44
Figura 8: Intervalos de confianza (95%) de °Brix según porcentaje de suero adicionado.....	46
Figura 9: Sólidos solubles totales	46
Figura 10: Intervalos de confianza (95%) de la viscosidad según porcentaje de suero adicionado.....	48
Figura 11: Viscosidad promedio (cP).....	49
Figura 12: Representación polar del color (Hue–Chroma) para los tratamientos	52
Figura 13: Densidad de masa residual.....	54
Figura 14: Grados alcohólicos (% v/v).....	57
Figura 15: Gráfica de intervalos de confianza al 95 % para la media del atributo sabor de la bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado con diferentes porcentajes de suero de leche.....	60
Figura 16: Gráfico de radar del perfil sensorial (color, sabor, olor, textura y apariencia general) de la bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado con diferentes porcentajes de adición de suero de leche.....	61
Figura 17: Evolución del pH en la chicha de jora sin lactosuero (0%)	63
Figura 18: Ajuste polinómico del pH durante el almacenamiento a temperatura ambiente	63
Figura 19: Chicha de jora con lactosuero	65
Figura 20: Regresión polinómica cúbica del pH durante el almacenamiento	65
Figura 21: Variación de la acidez total en la chicha de jora sin adición de lactosuero (0%)	69
Figura 22: Evolución de la acidez total (% ácido láctico) en chicha de jora con 10% de lactosuero.....	70

Figura 23: Evolución del contenido alcohólico sin lactosuero.....	72
Figura 24: Contenido alcohólico (% v/v) de la chicha de jora con adición de lactosuero.....	73
Figura 25: Contenido de antocianinas totales (mg de C3G/100 mL).....	75

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A <i>Matriz de consistencia</i>	85
Anexo B <i>Metodología de los análisis fisicoquímicos</i>	87
Anexo C <i>Panel fotográfico del proceso experimental</i>	91
Anexo D <i>Resultados experimentales de laboratorio</i>	99
Anexo E <i>Análisis estadístico de los resultados</i>	105

RESUMEN

La investigación se desarrolló con la finalidad de analizar la influencia de distintos niveles de incorporación de suero de leche (0%, 5%, 10% y 15%) en las propiedades fisicoquímicas y en la duración de conservación de una bebida alcohólica fermentada producida a partir de maíz morado (*Zea mays*). Para ello se aplicó un diseño experimental con mediciones durante siete días de fermentación, evaluando pH, acidez titulable, grados °Brix, viscosidad, densidad, color (CIELAB) y grado alcohólico, además de un estudio de almacenamiento a temperatura ambiente y refrigeración. Los resultados mostraron que el porcentaje de suero influyó de manera notable en parámetros como pH, °Brix, viscosidad y densidad, mientras que la acidez estuvo principalmente determinada por el tiempo de fermentación. El tratamiento con 10% de suero presentó un equilibrio adecuado entre sólidos solubles, viscosidad y estabilidad del pH. El grado alcohólico aumentó progresivamente hasta el día 6, alcanzando valores cercanos a 11%, sin diferencias marcadas entre tratamientos. En el análisis de vida útil, el modelo cinético de orden cero permitió estimar tiempos de 34.88 días para la bebida sin suero y 34.58 días para la formulada con 10% de suero, demostrando que ambas presentan una estabilidad similar y que la adición de lactosuero no modifica de forma significativa la duración del producto a temperatura ambiente. De manera complementaria, bajo refrigeración, el pH se mantuvo estable durante los 42 días evaluados, indicando que la temperatura de almacenamiento es el principal factor que preserva la calidad fisicoquímica de la bebida. En conjunto, la inclusión del 10% de suero de leche mejora ciertos atributos fisicoquímicos sin alterar la vida útil global, constituyendo una alternativa viable para la elaboración de bebidas fermentadas tradicionales.

Palabras clave: Bebida fermentada, características fisicoquímicas, fermentación alcohólica, suero de leche, maíz morado.

ABSTRACT

The research was conducted with the aim of analyzing the influence of different levels of whey incorporation (0%, 5%, 10%, and 15%) on the physicochemical properties and shelf life of a fermented alcoholic beverage produced from purple corn (*Zea mays*). For this purpose, an experimental design was applied with measurements taken over seven days of fermentation, evaluating pH, titratable acidity, °Brix, viscosity, density, color (CIELAB), and alcohol content, as well as a storage study under ambient and refrigerated conditions. The results showed that the percentage of whey had a notable influence on parameters such as pH, °Brix, viscosity, and density, while acidity was mainly determined by fermentation time. The treatment with 10% whey presented an adequate balance between soluble solids, viscosity, and pH stability. Alcohol content increased progressively until day 6, reaching values close to 11%, with no marked differences among treatments. In the shelf-life analysis, the zero-order kinetic model allowed the estimation of 34.88 days for the beverage without whey and 34.58 days for the formulation with 10% whey, demonstrating that both exhibit similar stability and that the addition of whey does not significantly modify product duration at ambient temperature. Additionally, under refrigerated storage, pH remained stable throughout the 42 days evaluated, indicating that storage temperature is the main factor preserving the physicochemical quality of the beverage. Overall, the inclusion of 10% whey improves certain physicochemical attributes without altering overall shelf life, constituting a viable alternative for the production of traditional fermented beverages.

keywords: Fermented beverage, physicochemical characteristics, alcoholic fermentation, whey, purple corn.

INTRODUCCIÓN

El maíz morado (*Zea mays*) es un cereal autóctono del Perú, ampliamente valorado por su elevado contenido de antocianinas, compuestos fenólicos con reconocida actividad antioxidante (Chuquizuta et al., 2021). Estas propiedades han impulsado su utilización no solo como materia prima en bebidas tradicionales, sino también en productos funcionales y fermentados, debido a su potencial para mejorar la salud humana y su versatilidad tecnológica (Pinedo et al., 2020).

La fermentación alcohólica es un proceso biotecnológico mediante el cual las levaduras, principalmente *Saccharomyces cerevisiae*, transforman los azúcares fermentables en etanol y dióxido de carbono (Yan et al., 2012). Este proceso depende de diversos factores, entre los cuales destacan el contenido inicial de azúcares, la temperatura, el tiempo y el pH del mosto, así como la composición de nutrientes disponibles para la levadura (Montilla et al., 2020).

El aprovechamiento de subproductos agroindustriales, como el suero lácteo, ha cobrado relevancia en la elaboración de bebidas fermentadas, debido a su contenido de proteínas, lactosa y minerales que favorecen el crecimiento microbiano y mejoran el perfil sensorial de los productos (Cardona et al., 2021). Sin embargo, su incorporación en bebidas de base vegetal aún es limitada y requiere evaluar su influencia en la fermentación y la formación de etanol.

En ese contexto, la adición de suero lácteo en mostos derivados de maíz morado podría contribuir a enriquecer el medio fermentativo, mejorando la estabilidad, el cuerpo y el valor nutricional del producto final. Estudios previos como los de Arroyo et al. (2020) demostraron que pequeñas proporciones de lactosuero pueden acelerar la cinética fermentativa inicial sin alterar el contenido final de etanol, mientras que Coca y Galvis (2022) observaron que el suero influye principalmente en las propiedades organolépticas y la textura de las bebidas.

Por otra parte, la determinación de los grados alcohólicos constituye un indicador esencial del avance del proceso fermentativo, ya que refleja la eficiencia metabólica de las levaduras y la conversión de azúcares en etanol (Torres & Morales, 2018). Evaluar esta variable en función del tiempo de fermentación y del porcentaje de suero adicionado permite comprender mejor la dinámica bioquímica del proceso y establecer condiciones óptimas para la producción de bebidas funcionales a base de maíz morado.

Bajo este enfoque, el estudio se orientó a examinar cómo la incorporación de suero lácteo influye en el proceso de fermentación alcohólica de una bebida elaborada con maíz morado, analizando la evolución temporal de sus parámetros fisicoquímicos y del contenido alcohólico, con el objetivo de definir una formulación que permita mejorar la calidad y la eficiencia del producto final fermentado.

De manera específica, el estudio se propuso: (1) evaluar cómo la incorporación de suero de leche modifica los parámetros fisicoquímicos de la bebida, (2) estudiar el efecto del período de fermentación y del agregado de suero lácteo sobre el grado alcohólico obtenido, y (3) analizar la conservación del producto y su tiempo de estabilidad en diversos escenarios de almacenamiento.

El documento de tesis se organizó en seis secciones. En el primer capítulo se aborda la problemática de estudio, junto con los objetivos, las hipótesis y la justificación de la investigación. El segundo capítulo desarrolla el marco teórico y el análisis de antecedentes. El tercer capítulo presenta los materiales utilizados y la metodología aplicada. En el cuarto capítulo se muestran los resultados obtenidos y su respectivo análisis. El quinto capítulo reúne las conclusiones y sugerencias derivadas del estudio. Finalmente, se incorporan las fuentes bibliográficas consultadas y los anexos correspondientes.

Este trabajo busca no solo innovar en el desarrollo de bebidas fermentadas funcionales y culturalmente relevantes, sino también promover el uso eficiente de recursos subutilizados, contribuyendo a una producción más sostenible, nutritiva y económicamente viable.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se evidencia que, aún con la amplia gama de nutrientes presentes en el suero de leche, una pequeña parte es aprovechado en la fabricación de alimento para animales y la mayor parte del suero de leche generado por las pequeñas y medianas industrias es desperdiciado (Coca & Galvis, 2022).

En la región Puno, considerada una de las principales productoras de leche fresca en el sur del Perú, la producción láctea alcanza aproximadamente entre 420 000 y 450 000 litros de leche por día a nivel regional, lo que representa una fuente importante de materias primas para derivados lácteos como el queso, según el Gobierno Regional de Puno y el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2025). Asimismo, de acuerdo con estadísticas del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego y el Instituto Nacional de Estadística e Informática (MIDAGRI & INEI, 2021), esta producción lechera genera un estimado de 33 058 toneladas de suero de leche anuales, debido a que en la elaboración de queso se produce una gran cantidad de lactosuero como residuo. Sin embargo, la mayor parte de este subproducto no se transforma en productos de alto valor agregado, sino que se pierde o se descarga como efluente líquido sin aprovechamiento industrial o alimentario.

La chicha de jora constituye una bebida alcohólica ancestral del Perú, obtenida mediante la fermentación de los carbohidratos presentes en el extracto de maíz germinado. Su origen se sitúa en la civilización inca, periodo en el cual formó parte del consumo habitual en el territorio del Tahuantinsuyo. En la actualidad, su elaboración persiste en distintas zonas del país y se ha extendido a otros países de Sudamérica, como Ecuador, Colombia y Chile, conservándose como una tradición que ha perdurado a través del tiempo. Se consume en las regiones de la sierra, de manera especial durante las festividades regionales, aunque con el pasar de los años y por diversos motivos como la inclusión de alimentos (bebidas) poco saludables como las gaseosas, energizantes o jugos que contienen sustancias y sabores artificiales o idénticos a los naturales, razones por las cuales se ha ido perdiendo la costumbre de consumirla y por ende, elaborarla (Ara et al., 2018).

El suero lácteo se caracteriza por contener niveles significativos de proteínas, lípidos, lactosa, vitaminas y otros componentes en menor proporción. Durante los procesos fermentativos se utilizan microorganismos con la capacidad de transformar distintos sustratos, como la lactosa, la xilosa o el almidón, en etanol. A través de diferentes enfoques biotecnológicos se pretende aprovechar el suero de leche, subproducto de la industria láctea, como materia prima para la producción de etanol. Existen además levaduras unicelulares, como *Saccharomyces cerevisiae*, que comprenden una amplia variedad de cepas tanto silvestres como domesticadas. Estas levaduras son empleadas tradicionalmente en la producción del alcohol en bebidas fermentadas en todo el mundo (Aráuz, 2020).

Esta investigación analizará las propiedades fisicoquímicas de una bebida tipo chicha de jora elaborada con incorporación de suero de leche, con la finalidad de plantear una opción viable para el aprovechamiento del suero lácteo generado en la región de Puno.

1.1 Formulación del problema

1.1.1 Problema general

¿Cómo influye la adición de suero de leche dulce en las características fisicoquímicas y vida útil de la bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado?

1.1.2 Problemas específicos

- a. ¿Cómo influye la adición de suero de leche en sus características fisicoquímicas de la bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado?
- b. ¿Cómo influyen la adición de suero lácteo y el tiempo de fermentación en la producción de alcohol durante la elaboración de una bebida a base de maíz morado?
- c. ¿Cómo influye la temperatura y tiempo de almacenamiento en la vida útil de la bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la adición de suero de leche sobre sus características fisicoquímicas y vida útil de la bebida fermentada alcohólica a base maíz morado.

1.2.2 Objetivos específicos

- a. Determinar la influencia de adición de suero de leche (proveniente de la elaboración de quesos) en las características fisicoquímicas de la bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado
- b. Analizar la influencia del tiempo de fermentación y adición de suero lácteo en la producción alcohólica de la bebida a base de maíz morado.
- c. Evaluar la vida útil de una bebida fermentada alcohólica a partir de suero de leche y maíz morado.

1.3 Formulación de hipótesis

1.3.1 Hipótesis general

La adición de suero de leche tendrá un efecto significativo en las características fisicoquímicas de la bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado, y, además, su incorporación permitirá mantener una vida útil constante durante el período de estudio

1.3.2 Hipótesis específica

- a. La adición de suero de leche tiene una influencia significativa en las características fisicoquímicas de la bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado.
- b. El tiempo de fermentación y la adición de suero lácteo tendrán un impacto significativo en la producción alcohólica de la bebida a base de maíz morado, a medida que aumenta el tiempo de fermentación, la concentración de alcohol en la bebida también aumenta. Además, la presencia de suero de leche proporcionará nutrientes adicionales para las levaduras, lo que favorecerá una mayor producción de alcohol durante la fermentación.
- c. A los 21 días de almacenamiento, la bebida fermentada alcohólica elaborada a partir de suero de leche y maíz morado mantendrá una vida útil constante, sin presentar cambios significativos en los valores de pH y acidez.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación técnica

La industria láctea constituye uno de los pilares económicos en numerosos países y ha impulsado el desarrollo de una tecnología amplia y moderna. Durante la elaboración de queso, aproximadamente el 90 % de la leche utilizada se transforma en suero, el cual es desechado y se considera uno de los subproductos con mayor impacto contaminante en la industria alimentaria. El no aprovechamiento del suero lácteo implica una pérdida

considerable de valor nutricional, ya que conserva cerca del 55 % de los constituyentes originales de la leche, entre ellos lactosa, proteínas, lípidos y minerales. En contraste, el maíz morado se caracteriza por su alto contenido de compuestos antioxidantes, principalmente antocianinas, responsables de su coloración púrpura distintiva. Estas sustancias presentan propiedades antiinflamatorias y contribuyen a la protección del organismo frente al daño oxidativo. Además, esta variedad de maíz es fuente de vitaminas, minerales y fibra dietaria, lo que le confiere un importante potencial para mejorar la calidad de la dieta y apoyar la salud cardiovascular. Su incorporación en alimentos, como bebidas fermentadas, permite enriquecerlos nutricionalmente y ofrecer alternativas más saludables para los consumidores. (Rabanal & Medina, 2021)

1.4.2 Justificación económica

El empleo de maíz morado y suero de leche para elaborar una bebida fermentada representa una alternativa económicamente atractiva, ya que permite valorizar subproductos, ampliar la oferta del mercado y elevar el contenido nutricional. Además, posibilita ubicar el producto dentro de un segmento de mayor valor, mientras impulsa prácticas sostenibles y refuerza el compromiso social de la empresa. (Rondón del Carpio, 2014)

1.4.3 Justificación social

La utilización del maíz morado, suero de leche y el producto de estos en una bebida fermentada alcohólica tiene una justificación social al fomentar la identidad cultural, generar oportunidades económicas locales, crear empleo, promover el turismo y la cultura gastronómica, y contribuir a los encuentros sociales y la cohesión comunitaria. (Bustamante, 2019)

1.4.4 Justificación ambiental

Presenta una justificación ambiental sólida al aprovechar subproductos, promover prácticas agrícolas sostenibles, reducir la huella de carbono, fomentar la economía circular y disminuir la generación de residuos. Esta combinación de ingredientes naturales y sostenibles puede contribuir positivamente a la preservación del medio ambiente y al desarrollo de prácticas más responsables con el entorno. (Odepa, 2019)

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Antecedentes

a. A nivel nacional

Bustamante (2019), realizó un estudio denominado: “Influencia de la temperatura de fermentación en las características fisicoquímicas de la chicha de jora, evaluados en dos variedades de germinados de maíz (*Zea Mayz L.*), INIA 603 y Marginal 28.”, tuvo como objetivo determinar la temperatura óptima de tratamiento. Se trabajó con cuatro muestras independientes de ambas variedades, las cuales fueron sometidas a fermentación a 19 °C y 24 °C. Los valores más favorables se obtuvieron en la variedad INIA 603 fermentada a 19 °C, alcanzando un pH de 3.42, una acidez de 2.7 g/L expresada como ácido tartárico, 5 °Brix y un contenido alcohólico de 5.7 °GL. Estos resultados permiten determinar que la fermentación a 19 °C proporciona las mejores condiciones. La relevancia del estudio se centra en establecer esta temperatura como el punto óptimo para futuras aplicaciones.

Champi y Taype (2018), Realizaron una investigación titulada: “Efecto de tiempo de cocción y fermentación sobre la calidad de la bebida fermentada a base de maíz morado (*Zea mays*) germinado de variedad de kculli”, para la elaboración de la bebida fermentada se empleó maíz morado germinado y molido, utilizando una relación de 1 kg de materia prima por cada 10 L de agua. Se desarrollaron nueve tratamientos experimentales. Posteriormente, las muestras obtenidas fueron envasadas en botellas de vidrio de 330 mL y sometidas a pasteurización a 80 °C, hasta alcanzar un valor de letalidad de $F_0 = 7$ minutos. Los resultados indicaron que el tratamiento con un tiempo de cocción de 2 horas y un periodo de fermentación de 24 horas presentó la mayor aceptación en los atributos sensoriales evaluados. Se determina que, conforme avanza el proceso de fermentación, tanto los valores de °Brix como el pH muestran una tendencia a reducirse.

b. A nivel internacional

Cardona et al. (2021), Se llevó a cabo un estudio titulado “Caracterización de la fermentación alcohólica del suero de leche a escala de laboratorio”, cuyo propósito fue describir el comportamiento del suero de leche durante su fermentación alcohólica en

condiciones controladas. La metodología aplicada consistió en estandarizar los niveles de lactosa mediante el uso de lactosa en polvo y emplear fosfato de amonio como fuente de nutrientes para favorecer el proceso fermentativo. Para obtener glucosa y galactosa como sustratos, se realizó una hidrólisis ácida: el suero fue calentado entre 85 y 90 °C y tratado con ácido clorhídrico concentrado durante 50 minutos, seguido de un enfriamiento de 10 minutos. Posteriormente, la mezcla se neutralizó con una solución de hidróxido de sodio 4N hasta alcanzar un pH cercano a 6. La fermentación se efectuó utilizando el cultivo de Rabanal. Cabe mencionar que la lactosa también puede hidrolizarse mediante la enzima lactasa. La verificación del proceso se efectuó mediante análisis polarimétrico. Los resultados fueron que el suero de leche con lactosa hidrolizada reflejó resultados positivos en la fermentación alcohólica, el cual se comprobó mediante la variación de los grados brix, a mayor cantidad de lactosa, mayor será el grado alcohólico (6° alcohólico de 125g/l de lactosa). Se concluyó que el incremento de la lactosa previamente hidrolizada se relaciona con un aumento en el porcentaje de etanol producido, mientras que la levadura *Saccharomyces cerevisiae* no presenta capacidad para fermentar lactosa en su forma no hidrolizada.

Paredes (2021), realizó un estudio denominado: “Propuesta para elaborar un prototipo de bebida alcohólica utilizando suero de leche como materia prima en alianza con la Universidad San Francisco de Quito (USFQ) y la industria alimenticia” en donde realizó un análisis bibliográfico. A través de la revisión bibliográfica, encuestas y entrevistas, se evidenció que la industria láctea enfrenta importantes pérdidas asociadas al suero de leche. El estudio concluye que la propuesta se orienta a emplear este subproducto como insumo principal para elaborar y comercializar una bebida alcohólica, buscando reducir los impactos sociales, ambientales y económicos derivados de la producción de lácteos. Esta investigación radica en que sustenta soluciones innovadoras para solución de la problemática de utilización de suero de leche.

Arroyo et al. (2020), realizaron la investigación titulada: “Efecto de la dosis de lactasa y levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*) en la fermentación alcohólica de suero de leche”, el cual tiene como objetivo la obtención de alcohol a partir de Suero de leche. En el estudio se utilizaron las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* US-05 y S-04 con modificación genética, en combinación con la enzima lactasa. El ensayo experimental se llevó a cabo mediante un diseño completamente aleatorizado, bajo un arreglo bifactorial A×B. Los factores considerados fueron: (a) la cepa de levadura, con dos modalidades (S-

04 y US-05), y (b) la dosificación de lactasa, establecida en cuatro niveles (0,25; 0,50; 0,75 y 1 mL por litro de sustrato). Como parte del control, en la mezcla inicial se determinaron los valores de pH, acidez titulable y °Brix. El proceso fermentativo tuvo una duración de 22 días. Los resultados evidenciaron que el tratamiento T4, compuesto por 3 mL de lactasa, 3 g de levadura US-05 y 3 L de suero de leche, presentó el mayor rendimiento en la producción de etanol. En síntesis, la fermentación del suero lácteo para la obtención de alcohol se perfila como una opción factible para su aprovechamiento y valorización, reduciendo su desperdicio.

2.2 Bases teóricas de la investigación

2.2.1 Suero de leche

a. Definición y obtención

El suero de leche es un subproducto líquido generado durante la elaboración del queso, cuya composición química está conformada principalmente por agua (aproximadamente 93–94 %) y una fracción de sólidos totales (6–7 %) compuesta mayoritariamente por lactosa (70–75 % de los sólidos), además de proteínas del suero como β -lactoglobulina y α -lactoalbúmina (0,6–0,8 %), bajas concentraciones de lípidos (menores al 0,5 %), minerales como calcio, fósforo, sodio y potasio (8–10 % de los sólidos), y pequeñas cantidades de vitaminas hidrosolubles del complejo B. Esta composición confiere al suero de leche un alto valor nutricional y un significativo potencial para aplicaciones alimentarias y biotecnológicas (Walstra et al., 2006).

En la producción de queso y otros productos lácteos, cerca del 90% del volumen procesado termina convertido en suero, un subproducto que presenta una elevada carga orgánica compuesta por sólidos suspendidos, grasa, nitrógeno y otros componentes. Por cada 100 litros, 35 kg representan la carga biológica (Paredes, 2021).

El suero corresponde a la fracción líquida que se desprende de la cuajada tanto en el proceso de fabricación de queso como en la obtención de caseína. Representa el 80-90% de la masa total del volumen que ingresa al proceso y contiene alrededor del 50% de los nutrientes de la leche original; Proteínas solubles, lactosa, vitaminas y sales minerales. (Prado, 2004)

Según Poveda (2013) el suero lácteo se define como la fracción líquida que se genera al remover la cuajada formada a partir de leche entera, crema o leche parcialmente

descremada durante la elaboración de queso, ya sea por la acción de enzimas, ácidos o agentes coagulantes como el cuajo.

De manera general, se estima que entre el 80 % y el 90 % de la leche utilizada en la elaboración de queso se convierte en suero como resultado del proceso productivo. La producción de queso genera un total de 8282 toneladas de suero dulce en la Región Puno (Ramírez et al., 2019), para esta investigación, se extrajo suero dulce de la elaboración de queso con leche proveniente del distrito de Coata.

b. Tipos de suero de leche

El suero de leche se origina como subproducto del procesamiento de la leche y puede clasificarse atendiendo al tipo de coagulación que ocurre durante su obtención. De acuerdo con este criterio, se reconocen dos tipos principales: el suero dulce y el suero ácido, los cuales presentan diferencias en su composición, propiedades y aplicaciones en la industria alimentaria y en otros sectores:

- Suero dulce

El suero dulce se genera cuando la coagulación de la leche se realiza mediante la adición de enzimas coagulantes (cuajo), proceso común en la elaboración de quesos semimaduros y maduros. Este tipo de suero presenta un pH cercano a la neutralidad (6,0–6,5) y un mayor contenido de lactosa, lo que lo convierte en un sustrato adecuado para procesos fermentativos. Asimismo, contiene proteínas solubles, vitaminas y minerales, características que favorecen su aprovechamiento en la industria alimentaria y biotecnológica, especialmente para la producción de bebidas fermentadas y alcoholes (Walstra et al., 2006).

- Suero ácido

El suero ácido se forma cuando la coagulación de la leche tiene lugar por procesos de acidificación, ya sea por la incorporación de ácidos o por la actividad de bacterias lácticas durante la producción de quesos frescos y caseína de tipo ácido. Este suero se distingue por presentar un pH reducido, generalmente entre 4,0 y 5,0, así como un contenido inferior de lactosa y una mayor proporción de sales minerales en relación con el suero dulce. Debido a su acidez, presenta mayores limitaciones para ciertos procesos fermentativos, por lo que su uso se destina principalmente a alimentación animal o aplicaciones industriales específicas (Fox et al., 2017).

c. Composición del suero de leche

La tabla siguiente presenta la composición del suero de leche, información esencial para evaluar adecuadamente sus propiedades nutricionales.

Tabla 1: *Composición del suero de leche*

Componente	Suero de leche dulce	Suero de leche ácido
Agua	93 %	93 %
Lactosa	4.9 %	4.3 %
Proteína	0.8 %	0.6 %
Grasa	0.3 %	0.1 %
Ceniza	0.56 %	0.46 %
Ácido láctico	0.2 – 0.3 %	0.7 – 0.8 %

FUENTE: Parra (2009).

En la tabla se presenta el perfil vitamínico del suero de leche, que incluye tiamina, riboflavina, ácido nicotínico, ácido pantoténico, piridoxina, cobalamina y ácido ascórbico. Entre estos compuestos, los de mayor presencia son el ácido nicotínico, el ácido pantoténico y el ácido ascórbico.

Tabla 2: *Contenidos en vitaminas del suero de leche*

Vitaminas	Concentración (mg/ml)	Necesidades diarias (mg)
Tiamina	0,38	1,5
Riboflavina	1,2	1,5
Ácido nicotínico	0,85	10-20
Ácido pantoténico	3,4	10
Piridoxina	0,42	1,5
Cobalamina	0,003	2
Ácido ascórbico	2,2	10-75

FUENTE: Parra (2009).

2.2.2 Chicha de jora y fermentación del maíz morado

a. Origen cultural y valor nutricional

La chicha de jora es una de las bebidas fermentadas más representativas de la región andina del Perú. Se produce a partir de maíz germinado, conocido como jora, que después de pasar por un proceso de fermentación genera una bebida de sabor suavemente

ácido y con un nivel de alcohol moderado. Desde épocas anteriores al Imperio inca, este producto fue apreciado no únicamente por su valor nutritivo, sino también por la relevancia ritual y simbólica que tuvo en las sociedades agrícolas. En la época incaica, su preparación estaba reservada para festividades religiosas y ceremonias de agradecimiento a la Pachamama, como símbolo de reciprocidad y conexión con la tierra (Frau, 2021).

En el contexto actual, la chicha de jora sigue teniendo un alto valor cultural y continúa produciéndose, en su mayoría, mediante métodos tradicionales en distintas zonas del país. Su producción ha trascendido del ámbito ritual al gastronómico, convirtiéndose en un producto representativo del patrimonio culinario peruano. Este tipo de bebidas tradicionales no solo fortalecen la identidad cultural, sino que también promueven el rescate de técnicas ancestrales de fermentación que han sobrevivido por transmisión generacional (Zevallos & Quispe, 2020).

b. Composición nutricional y características fisicoquímicas

Desde la perspectiva nutricional, la chicha de jora ofrece un aporte calórico moderado, posee un bajo nivel de grasas y contiene una cantidad significativa de carbohidratos susceptibles de fermentación. Según el Ministerio de Salud (2002), 100 g de esta bebida aportan aproximadamente 28 kilocalorías, 5.8 g de carbohidratos, 0.4 g de proteínas y 0.3 g de grasa. Estas propiedades hacen de la chicha un sustrato favorable para la acción de levaduras fermentativas, responsables de transformar los azúcares en etanol durante el proceso de fermentación.

Asimismo, se ha demostrado que el proceso fermentativo da lugar a la formación de metabolitos secundarios, entre ellos ácidos orgánicos, ésteres y aldehídos, responsables de las propiedades aromáticas y del perfil sensorial característico de la bebida. Gonzales et al. (2021) señalan que, en su microbiota predominan levaduras del género *Saccharomyces* y bacterias ácido lácticas, las cuales determinan el nivel de acidez, contribuyen al perfil sensorial y afectan la estabilidad final de la bebida. Esta combinación confiere a la chicha propiedades funcionales derivadas de metabolitos bioactivos y antioxidantes naturales, lo que la convierte en una bebida con potencial valor nutricional.

Tabla 3: *Propiedades y aspectos nutricionales de la chicha de Jora*

Contenido en 100g de alimento	
Energía (kcal.)	28
Agua (g)	93.2
Proteínas (g)	0.4
Grasa (g)	0.3
Carbohidratos (g)	5.8
Fibra (g)	0.2
Ceniza (g)	0.3
Calcio (mg)	22
Hierro (mg)	1.8
Tiamina (mg)	0.02
Riboflavina (mg)	0.10
Niacina (mg)	0.20
Ácido ascórbico reducido	2.4

FUENTE: Ministerio de Salud (2002).

En el anterior cuadro, se indica la composición nutricional de la chicha de jora 100 g de sustancia comestible.

El pH de la chicha de jora suele ubicarse entre 4.0 y 4.5, un intervalo que promueve el desarrollo tanto de levaduras como de bacterias lácticas. Los cambios en este valor a lo largo del proceso fermentativo están asociados a la generación de ácidos orgánicos y a la estabilidad microbiológica del producto terminado. Huamán et al. (2019) destacan que el descenso del pH constituye un indicador del avance fermentativo y de la formación de compuestos responsables de su sabor ligeramente ácido.

El balance entre acidez y contenido de sólidos solubles determina, además, su perfil sensorial y su capacidad de conservación. En estudios recientes se ha evidenciado que la chicha mantiene un equilibrio químico estable durante los primeros días de fermentación, lo cual asegura una bebida con dulzor residual y textura agradable (Gonzales et al., 2021).

c. Proceso de elaboración y fermentación

La elaboración de la chicha de jora se lleva a cabo a través de un proceso tradicional que se organiza en tres fases fundamentales: germinación del maíz, cocción

del mosto y fermentación. En la primera fase, el grano germina para activar enzimas como la amilasa, que descomponen el almidón en azúcares simples. Este paso es crucial para obtener un mosto rico en maltosa y glucosa, que luego servirán como fuente de energía para las levaduras (Valdivia et al., 2018).

Después de la cocción del mosto, se realiza la fermentación, que puede durar de cinco a siete días, dependiendo de la temperatura ambiental. Durante este tiempo, las levaduras transforman los azúcares fermentables en etanol y dióxido de carbono, alcanzando niveles alcohólicos que oscilan entre 8 % y 12 % en volumen (Ramos et al., 2020).

La fermentación constituye un proceso cambiante que depende de múltiples variables, como la concentración inicial de azúcares, el tipo de levadura utilizada y el control del pH a lo largo de la elaboración del producto. Montilla et al. (2020) afirman que una fermentación eficiente requiere condiciones anaeróbicas y un pH ligeramente ácido, lo cual optimiza la conversión de azúcares y la formación de compuestos aromáticos.

Las fermentaciones artesanales, como las empleadas en la chicha de jora, presentan una diversidad microbiana que influye directamente en su sabor final. Bartolo et al. (2013) señalan que esta biodiversidad microbiana contribuye a un perfil organoléptico complejo, caracterizado por notas frutales, ácidas y terrosas que varían según la región y la técnica de producción.

d. Aplicaciones tecnológicas y potencial de innovación

En la actualidad, la ciencia alimentaria ha mostrado interés en optimizar bebidas tradicionales como la chicha de jora mediante el uso de insumos naturales o subproductos agroindustriales. Uno de los subproductos más investigados es el suero lácteo, un residuo generado en la producción de queso que destaca por su elevado contenido de lactosa, proteínas y minerales. Este subproducto puede mejorar la fermentación al proporcionar nutrientes adicionales para las levaduras, aumentando la producción de etanol y mejorando la textura de la bebida (Cardona et al., 2021).

Además de sus beneficios tecnológicos, el uso del suero lácteo promueve una producción más sostenible. Coca y Galvis (2022) destacan que su aprovechamiento en bebidas fermentadas reduce la contaminación derivada del desecho lácteo y contribuye al

desarrollo de alimentos con valor funcional. Integrar este tipo de insumos en la chicha de jora no solo fortalece su valor nutricional, sino que también representa una fusión entre tradición e innovación tecnológica.

2.2.3 Fermentación alcohólica y parámetros de control

a. Fundamentos bioquímicos

La fermentación alcohólica es un mecanismo biológico anaerobio mediante el cual los microorganismos, como levaduras y algunas bacterias, transforman de manera incompleta los carbohidratos principalmente azúcares como glucosa, fructosa y sacarosa, e incluso almidón en productos fermentativos. Como resultado de esta transformación química se producen etanol y dióxido de carbono (CO₂). Además, se da la formación de otros compuestos orgánicos. (Herrera et al, 2019)

En los procesos de elaboración de alimentos y bebidas fermentadas, la levadura *Saccharomyces cerevisiae* es la más utilizada debido a su elevada tolerancia al alcohol y a su capacidad de adaptarse eficientemente a distintas condiciones ambientales. Bartolo et al. (2013) señalan que esta levadura tiene un metabolismo altamente eficiente para transformar azúcares fermentables en etanol, aun cuando se desarrolla en medios con pH reducido o con niveles moderados de nutrientes. Gracias a estas características, se considera un microorganismo clave en la producción artesanal de chicha de jora y de bebidas fermentadas elaboradas a partir de maíz morado.

La fermentación alcohólica se lleva a cabo en tres etapas esenciales: una fase inicial de adaptación, en la que las levaduras se aclimatan al entorno; una fase de crecimiento acelerado, caracterizada por la multiplicación celular y la transformación más intensa de los azúcares; y una fase final estacionaria, donde se incrementa la concentración de etanol y se reduce progresivamente la actividad metabólica. Según Montilla et al. (2020), el control de parámetros como la temperatura, el pH y la disponibilidad de oxígeno es fundamental para lograr un equilibrio óptimo entre la producción de etanol y la formación de metabolitos secundarios que determinan las características sensoriales del producto final.

b. Factores que afectan la producción de etanol

La eficiencia del proceso de fermentación alcohólica está directamente relacionada con las características fisicoquímicas del sustrato y con la especie microbiana empleada. Entre los factores que más inciden se encuentran la cantidad inicial de azúcares

disponibles, la temperatura de trabajo, el valor de pH y la presencia de nutrientes indispensables para el desarrollo microbiano. Yan et al. (2012) señalan que las levaduras alcanzan su máxima eficiencia en temperaturas entre 25 °C y 30 °C, rango en el cual la velocidad de conversión de glucosa a etanol es óptima. Temperaturas superiores a 35 °C pueden inhibir la actividad enzimática o provocar la desnaturalización de proteínas intracelulares.

El pH igualmente cumple una función fundamental, ya que influye en la estabilidad enzimática y en el crecimiento de las levaduras. Pinedo et al. (2020) indican que los valores ideales para una fermentación eficiente se sitúan entre 4.0 y 5.0, rango que evita la contaminación bacteriana y favorece la producción de etanol. Un medio demasiado ácido o alcalino puede reducir la viabilidad celular y, por consiguiente, disminuir el rendimiento alcohólico.

Otro aspecto relevante es la cantidad de oxígeno disponible en las primeras etapas del proceso. Durante la fase inicial, pequeñas cantidades de oxígeno estimulan la síntesis de lípidos y esteroides en las membranas celulares, necesarios para el desarrollo de las levaduras. Sin embargo, una vez iniciada la fermentación propiamente dicha, el exceso de oxígeno interrumpe la ruta anaeróbica y reduce la producción de etanol (Ramos et al., 2020).

La concentración de azúcares en el mosto tiene un impacto directo sobre el volumen de etanol que se puede producir. Si la concentración es demasiado baja, el proceso resulta incompleto; mientras que un exceso de azúcares puede generar inhibición osmótica. Por ello, la formulación del mosto debe contener un equilibrio adecuado de carbohidratos, nutrientes y minerales que garanticen una fermentación constante y sin interrupciones (Arroyo et al., 2020)

2.2.4 Análisis fisicoquímico

Consiste en un conjunto de procedimientos y técnicas Los análisis fisicoquímicos están orientados a determinar la composición de los alimentos y a evaluar sus propiedades físicas y químicas. La aplicación de estas técnicas contribuye de forma importante a la comprensión de la naturaleza de los materiales alimentarios. A partir de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos, es posible caracterizar los alimentos, identificar sus componentes y detectar la posible presencia de sustancias que puedan resultar nocivas.

Esto es parte del control de calidad y debe compararse con los límites establecidos en los documentos técnicos y normas del alimento que se analiza. (Porrás, 2018)

Los análisis químicos y físicos se pueden realizar adecuadamente, si el laboratorio tiene instrucciones internas (Manuales) preparadas de acuerdo con el equipo y los materiales disponibles para el laboratorio, para cubrir la mayor cantidad de procedimientos de control de calidad del alimento o grupo de alimentos analizado, todo con un enfoque en reforzar el aprendizaje. (Velázquez et al, 2018)

Durante la fermentación se evaluarán los parámetros de temperatura de fermentación, densidad (método NTP 211.048.2007), pH (método NTP 203.010.2003), grados Brix (método AOAC 931.12.2005) y grado alcohólico (método NTP 210.003.2003) (Ara et al, 2018).

- *pH*

El pH es un parámetro que permite determinar el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia, como una bebida fermentada, en función de la concentración de iones hidrógeno presentes. Un pH bajo indica acidez y un pH alto indica basicidad. El control del pH es un aspecto clave en la elaboración de productos alimentarios, ya que permite regular y comprender los procesos de transformación. Al igual que la temperatura y la humedad, el pH influye de manera directa en la conservación de los alimentos; por ello, cuando su valor disminuye, suele incrementarse el tiempo de vida útil del producto. En el caso de la leche, es esencial monitorear su pH desde la recolección hasta la distribución, puesto que refleja el estado y estabilidad del producto durante todo el proceso. (Maldonado et al, 2018)

$$pH = -\log[H^+]$$

- *Acides*

Los ácidos son compuestos indicador tornasol cambiantes y producen hidrógeno gaseoso con reaccionan con las bases para formar agua y compuestos iónicos llamados sales. (Romero, 2005). La acidez se determina efectuando una titulación, en la que se toma una porción adecuada de la muestra y se neutraliza con una solución de hidróxido de sodio 0.1 N, empleando fenolftaleína o azul de bromotimol para señalar el punto de viraje.

- *Grados Brix*

Los grados Brix expresan la proporción de sólidos solubles presentes en un líquido y se determinan mediante diversos equipos de medición, siendo el refractómetro el instrumento más comúnmente empleado. En este caso, se relacionan con el contenido de azúcares totales en el mosto durante la fermentación. (Herrera et al, 2019)

- *Viscosidad*

La viscosidad es una propiedad fisicoquímica que expresa la resistencia interna de un fluido a fluir cuando se le aplica una fuerza externa. Esta resistencia está asociada a la fricción entre las capas del fluido durante el movimiento y depende de factores como la temperatura, la concentración de sólidos disueltos y la composición del sistema. En bebidas fermentadas, la viscosidad influye directamente en la percepción sensorial de la textura y la consistencia del producto final (Steffe, 1996).

Un fluido newtoniano se caracteriza por presentar una viscosidad constante que no varía frente a cambios en el esfuerzo cortante ni en la tasa de deformación aplicada. En estos fluidos, el esfuerzo de corte es directamente proporcional a la velocidad de corte, de acuerdo con lo establecido por la ley de la viscosidad de Newton. La mayoría de líquidos simples y bebidas con bajo contenido de sólidos, como el agua y soluciones diluidas, presentan este comportamiento reológico (Barnes et al., 1989).

Un fluido no newtoniano se distingue por presentar una viscosidad que cambia según el esfuerzo de corte al que es sometido, por lo que no existe una relación proporcional directa entre el esfuerzo cortante y la tasa de deformación. Este comportamiento es común en sistemas complejos como suspensiones, emulsiones y bebidas con alto contenido de sólidos o macromoléculas, donde la estructura interna del fluido se modifica durante el flujo. Dentro de esta categoría se incluyen fluidos pseudoplásticos, dilatantes y con comportamiento dependiente del tiempo (Steffe, 1996).

- *Grado alcohólico*

El grado alcohólico representa la proporción de alcohol presente en una bebida líquida y su determinación se realiza mediante el uso de un alcoholímetro. Además, se interpreta como el volumen de alcohol dividido entre el volumen total del producto líquido. (Bartolo et al, 2013)

2.2.5 Vida útil y estabilidad de bebidas fermentadas

a. Concepto general de vida útil

La vida útil es un período en el cual, bajo circunstancias definidas, se produce una tolerable disminución de la calidad del producto. La calidad engloba muchos aspectos del alimento, como sus características físicas, químicas, microbiológicas, sensoriales, nutricionales y referentes a inocuidad. (Acuña & Bernal, 2010)

A pesar de que la chicha es una bebida tradicional de amplio consumo en el Perú, no se cuenta con una Norma Técnica oficial que regule su producción. En particular, la chicha de jora carece hasta hoy de una normativa técnica específica en el país, a pesar de su relevancia cultural y comercial.

b. Tipos de vida útil

La estimación de la vida útil de un producto puede dividirse en tres categorías principales: la vida útil teórica, la vida útil evaluada mediante ensayos acelerados y la vida útil obtenida bajo condiciones reales de almacenamiento. La vida útil teórica se calcula a partir de información previa o bibliográfica sobre productos similares, sin realizar pruebas experimentales. La vida útil acelerada, en cambio, se obtiene sometiendo al producto a condiciones extremas de temperatura, luz o humedad, para simular un envejecimiento rápido y estimar su deterioro en menos tiempo (Gutiérrez & Carpio, 2018).

Por su parte, la vida útil real la más relevante para la evaluación de bebidas fermentadas corresponde al periodo en el cual el producto es almacenado bajo las mismas condiciones en que será comercializado o consumido. García y López (2019) señalan que este tipo de estudio permite reflejar de manera precisa los cambios físicos, químicos y microbiológicos que ocurren naturalmente, garantizando resultados representativos y confiables. A diferencia de la acelerada, la vida útil real ofrece una valoración auténtica del comportamiento del producto en el mercado, lo que la convierte en la más utilizada para bebidas artesanales como la chicha de jora o la fermentación de maíz morado.

c. Determinación experimental de la vida útil real

La vida útil real se determina mediante la observación periódica de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del producto durante su almacenamiento normal. Cortés (2021) explica que se seleccionan intervalos de tiempo específicos (por ejemplo,

cada 7 o 14 días) y se evalúan variables como pH, acidez, grado alcohólico, color, olor y sabor. Estos datos se comparan con los límites de aceptación establecidos, considerando como final de la vida útil el momento en que el producto deja de cumplir con al menos uno de los criterios de calidad o seguridad.

En bebidas fermentadas, la temperatura de conservación juega un papel determinante: temperaturas bajas (4–10 °C) retardan la actividad enzimática y preservan los compuestos volátiles, mientras que temperaturas superiores a 25 °C aceleran el deterioro sensorial y la refermentación (Martínez et al., 2020). De esta manera, la vida útil real no solo refleja el deterioro físico, sino también los cambios biológicos que afectan la aceptación del consumidor.

d. Factores que influyen en la vida útil

La vida útil de un producto depende de diversos elementos internos y externos. Dentro de los factores intrínsecos se encuentran el pH, la acidez, el nivel de alcohol y la actividad de agua, todos ellos relacionados con la resistencia del alimento frente al desarrollo de microorganismos. Entre los factores extrínsecos se consideran la temperatura a la que se conserva el producto, las características del envase utilizado y la cantidad de luz a la que este se expone. Torres y Delgado (2020) resaltan que los envases de vidrio o PET con cierre hermético ayudan a preservar el color, aroma y sabor, mientras que los envases permeables al oxígeno pueden reducir significativamente la vida útil.

Cruz et al. (2019) sostienen que el control de la temperatura y el uso de refrigeración son estrategias eficaces para prolongar la estabilidad sensorial de bebidas fermentadas. Al mantener la cadena de frío, se reduce la actividad metabólica de las levaduras y bacterias, evitando fermentaciones secundarias y formación de gases. Este control es esencial en productos artesanales, donde no siempre se aplican conservantes químicos.

e. Importancia de evaluar la vida útil real

La vida útil real constituye el método más representativo para estimar el comportamiento de las bebidas fermentadas durante su almacenamiento natural, ya que permite evaluar los cambios fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales bajo condiciones reales de conservación. Según la FAO (2019), este tipo de estudio es indispensable para productos tradicionales, debido a que valida su estabilidad sin alterar

las condiciones auténticas de almacenamiento. Asimismo, los resultados obtenidos proporcionan información confiable para establecer fechas de vencimiento y definir estrategias adecuadas de distribución y comercialización.

Desde un enfoque técnico–científico, la determinación de la vida útil real se fundamenta en el análisis de la cinética de deterioro, la cual describe la velocidad con la que un parámetro de calidad se modifica en función del tiempo. En bebidas fermentadas, este comportamiento puede modelarse mediante ecuaciones cinéticas de orden cero, primer orden o segundo orden, dependiendo de la naturaleza del parámetro evaluado y del mecanismo de deterioro predominante (Gutiérrez & Carpio, 2018).

En el modelo cinético de orden cero, el cambio del parámetro de calidad ocurre a una velocidad constante e independiente de su concentración, la cual se representa mediante la siguiente expresión matemática:

$$C = C_0 - kt$$

El modelo cinético de primer orden plantea que la tasa de deterioro es directamente proporcional a la cantidad del parámetro analizado, lo cual se describe mediante la siguiente ecuación:

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = -kt$$

Finalmente, el modelo cinético de segundo orden considera que la velocidad de cambio depende del cuadrado de la concentración del parámetro de calidad, y se describe mediante la siguiente expresión:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + kt$$

donde C es el valor del parámetro de calidad en el tiempo t, C₀ el valor inicial y k la constante cinética de deterioro. La aplicación del modelo cinético más adecuado permite estimar con mayor precisión el tiempo en el que el producto alcanza un límite crítico de aceptabilidad, definiendo así su vida útil real.

A nivel normativo, el Reglamento Sanitario de Bebidas Fermentadas establece que todo producto debe demostrar su estabilidad mediante ensayos que incluyan la evaluación de la vida útil real, garantizando que los alimentos sean inocuos y mantengan su calidad sensorial durante el tiempo indicado en la etiqueta (Ministerio de Salud, 2017).

La vida útil de las bebidas fermentadas puede evaluarse mediante distintos enfoques metodológicos, los cuales difieren en las condiciones de análisis, el tiempo requerido y el grado de precisión de los resultados. En la Tabla 4 se presenta una comparación de los principales tipos de vida útil empleados en estudios de bebidas fermentadas, destacando sus ventajas, limitaciones y referencias bibliográficas.

Tabla 4: *Tipos de vida útil en bebidas fermentadas*

Tipo de vida útil	Condiciones de evaluación	Ventajas	Limitaciones	Referencia
Teórica	Basada en bibliografía o experiencias previas	Rápida y económica	No refleja condiciones reales	Gutiérrez y Carpio (2018)
Acelerada	Simula envejecimiento bajo condiciones extremas	Permite estimar en menor tiempo	Puede distorsionar resultados	Martínez et al. (2020)
Real	Bajo condiciones normales de almacenamiento	Resultados precisos y representativos	Requiere tiempo prolongado de análisis	García y López (2019)

Nota. Elaboración propia a partir de Gutiérrez y Carpio (2018), Martínez et al. (2020) y García y López (2019).

De acuerdo con la comparación presentada en la Tabla 4, la vida útil real representa el método más adecuado para bebidas fermentadas de origen artesanal, ya que permite evaluar su estabilidad en condiciones naturales sin alterar su composición ni su microbiota original. Su correcta determinación asegura que el producto mantenga su calidad, seguridad e identidad durante el tiempo de consumo previsto. Este enfoque no solo garantiza la inocuidad alimentaria, sino que también favorece la estandarización de bebidas tradicionales e impulsa la innovación tecnológica en la agroindustria regional (FAO, 2019).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ámbito de estudio

El estudio se desarrolló en las instalaciones de los laboratorios pertenecientes a la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Juliaca.

3.2 Métodos y alcance de la investigación

a. Tipo de investigación

El estudio se consideró de carácter aplicado, ya que tuvo como propósito brindar una solución a una situación específica: aprovechar el suero de leche, usualmente desechado, para elaborar una bebida alcohólica fermentada similar a la chicha de jora. El suero empleado contenía principalmente lactosa, además de proteínas, minerales, vitaminas y grasa.

b. Enfoque de la investigación

Fue de enfoque cuantitativo, dado que se emplearon mediciones numéricas para evaluar y comprobar la hipótesis planteada.

c. Nivel de la investigación

Explicativa, porque tuvo como objetivo dar respuesta a la causa del evento. Se enfocó en explicar por qué sucedieron los eventos y bajo qué circunstancias se relacionaron los fenómenos de dos o más variables.

d. Diseño de Investigación

La investigación se clasificó como experimental, ya que se llevó a cabo en un entorno controlado donde se manipularon las variables independientes en este caso, el porcentaje de suero de leche añadido con el fin de evaluar el efecto de esta modificación sobre la variable dependiente, expresada en las características fisicoquímicas y la aceptación sensorial del producto.

3.3 Población y muestra

En esta investigación se empleó suero dulce, el cual fue obtenido durante el proceso de producción de queso elaborado con leche procedente del distrito de Coata.

3.4 Materiales

Para producir la bebida alcohólica fermentada se emplearon los siguientes insumos:

a. Insumos y reactivos

- Suero de leche
- Maíz morado
- *Saccharomyces cerevisiae*
- Agua destilada
- Azul de bromotimol
- Hidróxido de sodio 0.1N

El suero de leche utilizado en el estudio provino de la elaboración artesanal de queso fresco tipo paria, preparado con leche bovina pasteurizada del distrito de Coata.

b. Materiales utensilios

- Colador
- Jarra medidora
- Recipientes
- Envases de vidrio y plástico
- Cocina
- Gas
- Probeta 100 ml
- Vaso precipitado 250 ml
- Pipeta graduado 1 ml
- Bombilla pipeteador
- Piceta de plástico 500 ml
- Bureta
- Soporte universal y pinza
- Matras Erlenmeyer
- Picnómetro de 25ml

c. Equipos

- Balanza analítica
- Refractómetro
- Densímetro
- Alcoholímetro
- pH metro
- Viscosímetro
- Espectrofotómetro
- Equipo de destilación

3.4.1 Diagrama de flujo general del proceso de elaboración de la bebida fermentada

Se muestra seguidamente el diagrama de flujo global, el cual sintetiza cada una de las fases realizadas en la producción de la bebida fermentada de maíz morado enriquecida con suero lácteo.

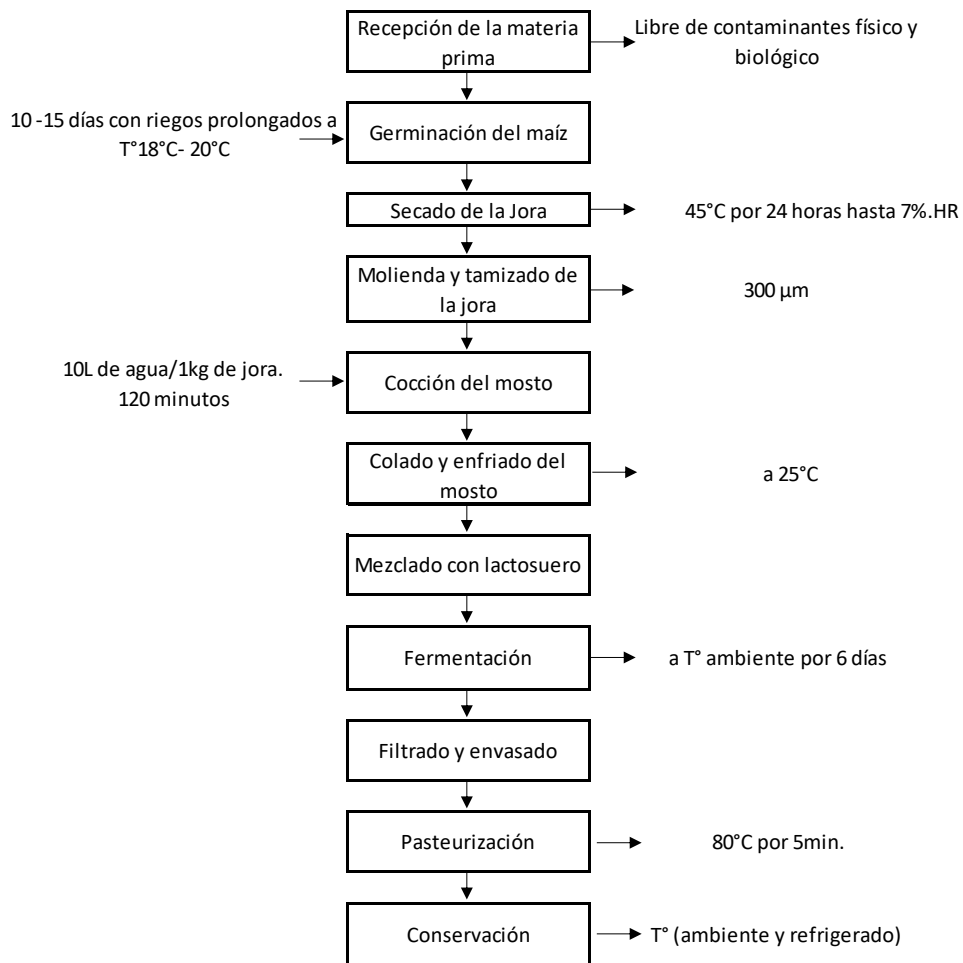


Figura 1: Diagrama de flujo general del proceso

a. Recepción de la materia prima

El maíz morado utilizado como materia prima fue seleccionado cuidadosamente para asegurar la ausencia de contaminantes físicos y biológicos. Se descartaron granos rotos, mohosos o con signos de fermentación previa. Asimismo, se empleó agua potable y suero lácteo fresco proveniente del proceso de elaboración de queso. Este control inicial fue fundamental para garantizar la inocuidad del producto y la calidad del proceso fermentativo.

b. Germinación del maíz

Los granos seleccionados fueron lavados con agua corriente y luego sumergidos durante 24 horas para su hidratación. Posteriormente, se dispusieron en bandejas con capas delgadas y se mantuvieron a una temperatura controlada entre 18 °C y 20 °C durante 10 a 15 días, efectuando riegos prolongados cada 12 horas. La germinación se consideró completa cuando los brotes alcanzaron entre 1 y 2 cm de longitud. Este proceso permitió la activación enzimática (principalmente amilasas), responsables de la conversión del almidón en azúcares fermentables.

c. Secado de la jora

Tras concluir la etapa de germinación, los granos se sometieron a un proceso de secado controlado que permitió reducir su humedad y estabilizarlos. Este procedimiento detuvo la actividad enzimática y microbiana, lo que contribuyó a preservar las propiedades bioquímicas desarrolladas durante la germinación y asegurar la calidad del maíz para su posterior uso.

d. Molienda y tamizado de la jora

La jora seca fue triturada hasta obtener un material de textura fina y homogénea. Este proceso permitió aumentar la superficie de contacto del grano, favoreciendo una mejor liberación de azúcares y nutrientes durante la elaboración del mosto y contribuyendo a una fermentación más eficiente.

e. Cocción del mosto

Para elaborar el mosto, se combinó un kilogramo de harina de jora con diez litros de agua apta para consumo. La mezcla se sometió a cocción durante 120 minutos a ebullición, con agitación periódica para evitar la sedimentación y el sobrecalentamiento.

Este proceso permitió la gelatinización del almidón y la liberación de compuestos fenólicos del maíz morado, además de asegurar la reducción microbiana del medio.

f. Colado y enfriado del mosto

Finalizada la cocción, el mosto se coló con un lienzo de lino para eliminar residuos sólidos. El líquido obtenido se enfrió hasta alcanzar 25 °C, temperatura adecuada para la inoculación de la levadura y la incorporación del suero lácteo. Este paso fue esencial para evitar el estrés térmico del microorganismo fermentador.

g. Mezclado con lactosuero

Al mosto enfriado se adicionó suero lácteo en proporciones experimentales de 0 %, 5 %, 10 % y 15 % (tratamientos T1, T2, T3 y T4, respectivamente). El lactosuero aportó lactosa, proteínas y minerales, favoreciendo el desarrollo y metabolismo de las levaduras. La mezcla se homogeneizó cuidadosamente antes de la fermentación.

h. Fermentación

La fermentación se realizó incorporando 12 % de azúcar y 0,05 % de levadura *Saccharomyces cerevisiae*. La activación de la levadura se realizó disolviendo 0,5 g del cultivo en 10 mL de agua tibia (entre 35 y 40 °C), añadiendo además 1 g de azúcar por cada litro de mosto. La fermentación se prolongó durante seis días a temperatura ambiente (25–28 °C), periodo en el cual se monitorearon diariamente el pH, los grados Brix y el nivel de alcohol. A lo largo de este proceso, los azúcares presentes fueron transformados en etanol y dióxido de carbono, generándose así la base alcohólica de la bebida.

i. Filtrado y envasado

Al finalizar la fermentación, se seleccionó el mejor tratamiento junto con una muestra patrón. Ambos fueron filtrados para eliminar sedimentos y posteriormente envasados en botellas de vidrio esterilizadas. Este paso garantizó la claridad y presentación adecuada del producto final.

j. Pasteurización

Los envases sellados fueron sometidos a pasteurización a 80 °C durante 5 minutos. Este tratamiento térmico tuvo como objetivo eliminar posibles microorganismos residuales y prolongar la estabilidad del producto, sin alterar significativamente el contenido alcohólico ni los compuestos aromáticos.

k. Conservación

Los tratamientos sometidos a pasteurización fueron conservados bajo dos condiciones distintas: en refrigeración (2 °C) y a temperatura ambiente (19 ± 2 °C). Durante 42 días se monitorearon de manera periódica el pH, la acidez y el contenido de alcohol, con el propósito de determinar la vida útil real del producto y analizar su estabilidad fisicoquímica y microbiológica a lo largo del tiempo.

3.4.2 Formulación composicional del mosto

El mosto inicial se preparó a partir del extracto de maíz morado malteado (jora), el cual se obtuvo mediante cocción en una proporción de 10 litros de agua por kilogramo de jora, manteniendo el proceso durante 120 minutos. Posteriormente, el extracto fue colado y enfriado hasta alcanzar una temperatura de 25 °C.

Una vez acondicionado el extracto, se procedió a la formulación de los tratamientos experimentales mediante la adición de suero lácteo dulce pasteurizado en diferentes proporciones, sustituyendo parcialmente el volumen del extracto de maíz morado. De este modo, se establecieron cuatro tratamientos: M1 (0 %), M2 (5 %), M3 (10 %) y M4 (15 %) de suero lácteo, manteniéndose constante el volumen final de 1000 mL en todos los casos.

A cada tratamiento se le adicionó 120 g de azúcar comercial por litro de mosto, manteniéndose constante dicha cantidad en todas las formulaciones. Como resultado de la adición de azúcar y de los azúcares naturalmente presentes en el extracto de maíz morado y el suero lácteo, el contenido inicial de sólidos solubles del mosto, expresado en °Brix, fue cercano a 15 °Brix.

Tabla 5: *Formulación de tratamientos experimentales*

Tratamiento	M1 (0 %)	M2 (5 %)	M3 (10 %)	M4 (15 %)
Chicha de maíz morado (mL)	1000	950	900	850
Suero lácteo (mL)	0	50	100	150
Azúcar (12 %) (g)	120	120	120	120
Levadura (0.05 %) (g)	0.5	0.5	0.5	0.5
Agua para activación (mL)	10	10	10	10
°Brix inicial	15.07 ± 0.67	15.07 ± 0.25	14.80 ± 0.36	15.43 ± 0.21
pH inicial	5.41 ± 0.06	5.42 ± 0.06	5.46 ± 0.05	5.46 ± 0.02
Volumen total (mL)	1000	1000	1000	1000

El proceso fermentativo comenzó con la incorporación de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, empleada en una concentración del 0.05 % (p/v), lo que corresponde a 0.5 g de levadura por cada litro de mosto. Previamente, la levadura fue activada en 10 mL de agua tibia (35–38 °C), a la cual se añadió 1 g de azúcar por litro de mosto, con la finalidad de favorecer su actividad metabólica inicial.

Cada tratamiento se elaboró por triplicado, manteniéndose constantes el volumen total del mosto, la cantidad de azúcar añadida, la concentración de levadura y las condiciones iniciales de fermentación. El reemplazo del extracto de maíz morado por suero lácteo se realizó de manera proporcional según el nivel de tratamiento establecido.

3.5 Metodología experimental por objetivo

a. Determinar la influencia de la adición de suero de leche en las características físicoquímicas de la bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado.

VARIABLES INDEPENDIENTES: Porcentaje de suero lácteo adicionado (0%, 5%, 10% y 15%).

VARIABLES DEPENDIENTES: pH, acidez titulable, °Brix, viscosidad, densidad y color.

DISEÑO EXPERIMENTAL: La investigación se desarrolló empleando un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), donde los días de fermentación constituyeron los bloques, con el fin de controlar la variabilidad asociada al tiempo. El factor de tratamiento fue el porcentaje de suero de leche adicionado con cuatro niveles (0 %, 5 %, 10 % y 15 %). Cada tratamiento se evaluó con tres repeticiones independientes (R1, R2 y R3).

En total se obtuvieron 12 unidades experimentales por día (4 tratamientos × 3 repeticiones). El proceso de fermentación se desarrolló durante siete días, generando así un total de 84 observaciones (12 unidades por día × 7 días-bloque).

Tabla 6: *Diseño en Bloques Completamente al Azar (DBCA)*

Tratamientos (suero de leche)	Día 1 (Bloque 1)	Día 2 (Bloque 2)	Día 3 (Bloque 3)	Día 4 (Bloque 4)	Día 5 (Bloque 5)	Día 6 (Bloque 6)	Día 7 (Bloque 7)
0 % (R1, R2, R3)	X	X	X	X	X	X	X
5 % (R1, R2, R3)	X	X	X	X	X	X	X
10 % (R1, R2, R3)	X	X	X	X	X	X	X
15 % (R1, R2, R3)	X	X	X	X	X	X	X

A lo largo de cada día del proceso fermentativo se registraron las variables fisicoquímicas pH, acidez titulable, °Brix, viscosidad, densidad y color. Esto permitió analizar cómo influía el porcentaje de suero de leche añadido, mientras que el bloqueo por días ayudó a controlar la variabilidad atribuida al tiempo.

Diseño estadístico: El análisis se realizó mediante un ANOVA basado en un Diseño en Bloques Completamente al Azar (DBCA) utilizando Minitab 19. El porcentaje de suero de leche se consideró factor fijo, mientras que los días de fermentación se emplearon como bloques para controlar la variabilidad asociada al tiempo. Las tres réplicas funcionaron como unidades experimentales dentro de cada bloque y tratamiento.

Se utilizó un nivel de significancia de $p < 0.05$. Antes de realizar los análisis estadísticos, se verificaron los supuestos de normalidad y de igualdad de varianzas. En los casos donde se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, las comparaciones de medias se efectuaron mediante la prueba de Tukey.

Procedimientos:

A continuación, se detallan los procedimientos empleados para medir los parámetros fisicoquímicos de la bebida fermentada de maíz morado enriquecida con suero lácteo. Cada análisis se efectuó por triplicado, utilizando métodos validados y equipos previamente calibrados.

- **Determinación de acidez titulable**

La acidez titulable se determinó mediante una titulación volumétrica, empleando hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N como solución titrante y azul de bromotimol como indicador, de acuerdo con el método establecido por la AOAC (2016). Para el análisis, se midieron 10 mL de muestra, los cuales se diluyeron con 20 mL de agua destilada y se titularon hasta obtener una coloración rosada persistente por 30 segundos. Los valores obtenidos se reportaron como gramos de ácido láctico por cada 100 mL de muestra, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez (\% ácido láctico)} = \frac{V \times N \times 0.009 \times 100}{m}$$

donde:

V = volumen de NaOH 0.1 N (mL),

N = normalidad del NaOH,

m = volumen de muestra (mL).

- **Determinación de pH**

La medición del pH se realizó por lectura directa con un potenciómetro digital previamente calibrado empleando soluciones tampón de pH 4.0 y 7.0, siguiendo el procedimiento indicado por Fisher y Hart (1971). Para la medición, se vertieron 50 mL de la muestra en un vaso de precipitados limpio, se colocó el electrodo del equipo dentro del líquido y se registró el valor una vez que este se estabilizó. El pH es un indicador fundamental de la acidez activa y del avance del proceso fermentativo (Fisher & Hart, 1971).

- **Determinación de grados Brix**

El contenido de sólidos solubles se determinó mediante una lectura directa con un refractómetro digital Hanna HI96814 Wine Refractometer, previamente calibrado con agua destilada a 20 °C. Una gota de muestra se colocó en la superficie del prisma óptico y el valor se expresó en grados Brix (°Bx), equivalentes a gramos de sacarosa por 100 g de solución. Este método permite evaluar la concentración de azúcares fermentables en el mosto y su consumo durante la fermentación (AOAC, 2005).

- **Determinación de viscosidad**

La viscosidad se midió utilizando un viscosímetro rotacional Fungilab a 25 ± 1 °C, empleando el husillo adecuado según la fluidez de la muestra. La lectura se obtuvo en centipoises (cP) y se registró cuando la aguja del instrumento se estabilizó. El procedimiento se realizó siguiendo la metodología recomendada por Campos y López (2018), quienes indican que este parámetro refleja los cambios estructurales del líquido durante la fermentación.

- **Determinación de color**

El color se determinó mediante un espectrofotómetro LICO 620, calibrado con una cubeta patrón de referencia (blanco). Se midieron las coordenadas de color en el espacio CIE-*Lab**, donde L (Luminosidad) indica el nivel de claridad u oscuridad de la muestra, a corresponder al eje que va del rojo al verde y b al eje que abarca desde el amarillo hasta el azul. El análisis se efectuó de acuerdo con la metodología de Gómez y Vargas (2017), quienes indican que el color es un parámetro sensorial clave influenciado por los pigmentos fenólicos del maíz morado y las condiciones de fermentación.

- **Determinación de densidad**

La densidad se determinó utilizando un picnómetro de 25 mL, siguiendo el método propuesto por Cobo y León (2019). Se registró el peso del picnómetro vacío, luego con agua destilada como referencia y, finalmente, con la muestra llena para realizar la comparación correspondiente. La densidad se calculó mediante la relación entre masa y volumen, expresándose en g/mL, según la ecuación:

$$\text{Densidad} \left(\frac{g}{mL} \right) = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

donde:

m1 = masa del picnómetro vacío (g),

m2 = masa del picnómetro con muestra (g),

V = volumen del picnómetro (mL).

Diagrama de flujo:

Seguidamente se muestra el diagrama de flujo correspondiente al cumplimiento de los objetivos específicos 1 y 2.

Durante el proceso de fermentación, se registraron de manera continua las características fisicoquímicas de la bebida con el propósito de analizar su comportamiento y evolución a lo largo de seis días, siguiendo los lineamientos del método tradicional de producción de chicha de jora utilizado en diversas regiones del Perú. (Bustamante, 2019)

En la figura siguiente se observa el diagrama de flujo para la obtención de datos de este objetivo específico 1 de acuerdo a Rojas et al., (2018) el cual se adaptó para el cumplimiento de este objetivo específico 1.

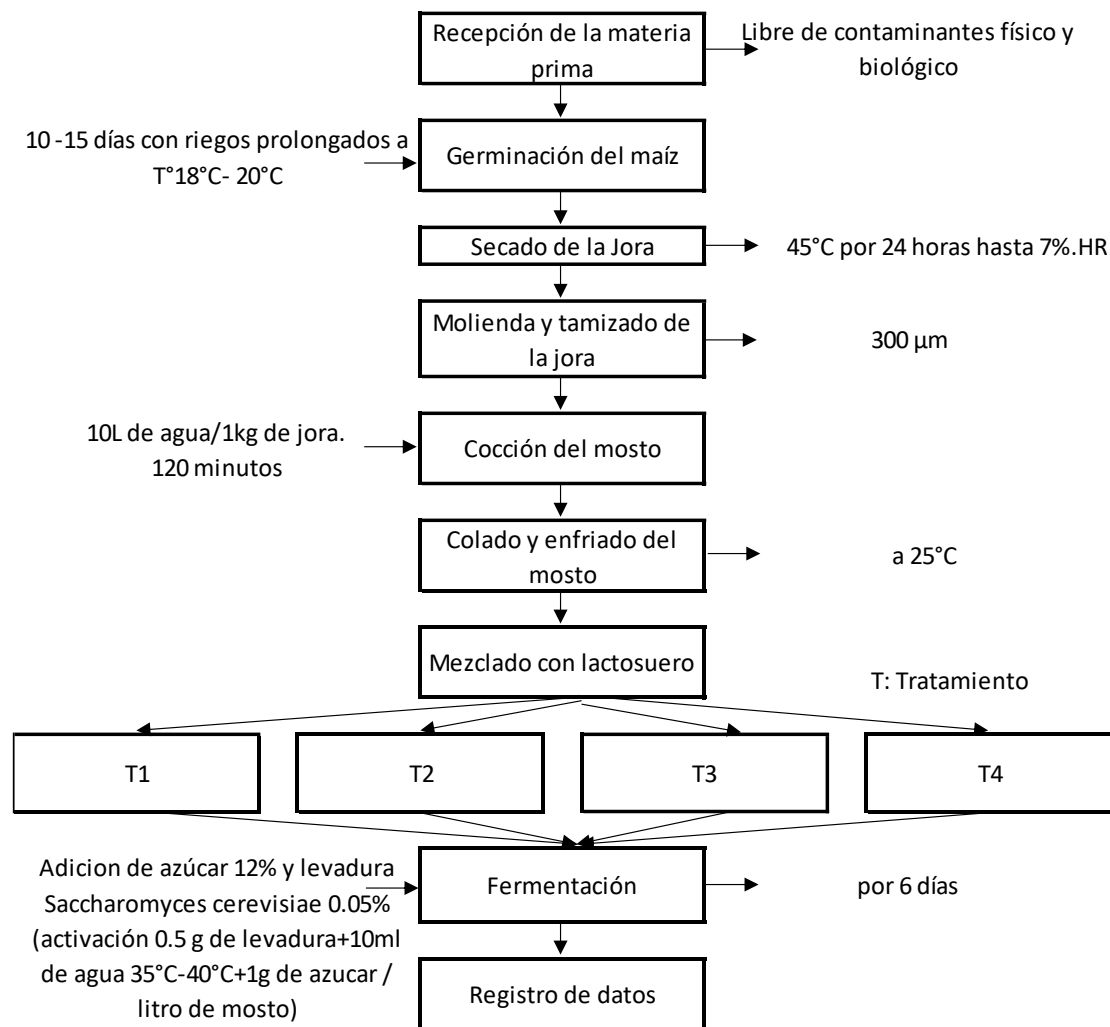


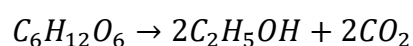
Figura 2: Diagrama de flujo para el cumplimiento del objetivo específico 1.

Nota. Elaboración propia a partir de Ara et al. (2018).

b. Analizar la influencia del tiempo de fermentación y la adición de suero lácteo en la producción alcohólica de la bebida a base de maíz morado.

La fermentación alcohólica es un proceso biológico de naturaleza óxido-reducción, mediante el cual los azúcares fermentables se transforman en etanol y dióxido de carbono bajo condiciones anaerobias, principalmente por la acción de levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*. Desde un enfoque estequiométrico global, este proceso puede representarse mediante la conversión de una molécula de glucosa en dos moléculas de etanol y dos moléculas de dióxido de carbono, manteniéndose el equilibrio de masa y carga del sistema (Madigan et al., 2021).

La reacción global de fermentación alcohólica se expresa de la siguiente manera:



donde la glucosa actúa como sustrato fermentable y se transforma en etanol, compuesto responsable del contenido alcohólico de la bebida, y dióxido de carbono como subproducto del proceso fermentativo.

Variables independientes:

- Porcentaje de adición del suero lácteo (0%, 5%, 10%, 15%)
- Tiempo de fermentación (1, 2, 3, 4, 5 y 6 días)

Variable dependiente: Grado alcohólico (% v/v, método NTP 210.003.2003).

Diseño experimental: Se empleó un diseño factorial 4×6 con tres repeticiones. Este diseño permitió evaluar simultáneamente el efecto del porcentaje de suero lácteo (factor A) y el tiempo de fermentación (factor B), así como su posible interacción sobre la producción del etanol presente en la bebida fermentada obtenida a partir de maíz morado.

Tabla 7: *Diseño factorial 4 x 6*

Porcentaje de suero de leche	0%						5%						10%						15%					
Tiempo (días)	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
R1																								
R2																								
R3																								

Se dejó fermentar de uno a seis días, de acuerdo con el método tradicional de producción de chicha de jora elaborado en diferentes regiones del Perú. (Bustamante, 2019)

Diseño estadístico: ANOVA factorial + prueba de Tukey.

El procesamiento estadístico se efectuó utilizando un ANOVA factorial 4×6 , con un nivel de significancia de $p < 0.05$, con el fin de identificar los efectos principales y la interacción entre el porcentaje de suero lácteo y el tiempo de fermentación en relación con el contenido alcohólico.

Cuando se identificaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey para establecer qué combinaciones presentaban diferencias estadísticamente significativas (Montgomery, 2017).

Procedimiento:

El seguimiento del grado alcohólico se efectuó diariamente durante los seis días de fermentación. Las muestras se tomaron de cada tratamiento y repetición a temperatura ambiente.

El contenido alcohólico (% v/v) se determinó conforme a la norma NTP 210.003:2003, Los resultados se registraron y analizaron estadísticamente con el software Minitab (versión 19).

Análisis complementarios:

Se realizó una evaluación sensorial del tratamiento que presentó mejor calidad, tomando en cuenta características como el color, el sabor, el aroma, la textura y la apariencia global. Se utilizó una escala del 1 al 5, representando niveles de agrado desde "me disgusta mucho" hasta "me gusta mucho", para evaluar la preferencia.

Los parámetros de pasteurización se establecieron a 80°C por 5 minutos, aplicándose al mejor tratamiento para asegurar un proceso efectivo de eliminación de microorganismos y garantizar la seguridad alimentaria del producto para el análisis de vida útil realizado en el siguiente objetivo (Ara et al., 2018).

c. Evaluar la vida útil de la bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado, con y sin adición de suero de leche.

La duración de conservación de la bebida fermentada alcohólica de maíz morado se determinó mediante un estudio de almacenamiento en condiciones reales (**vida útil real**). Este enfoque consiste en monitorear directamente los parámetros críticos de calidad del alimento durante su conservación hasta que alcanzan un límite de aceptación previamente definido (Robertson, 2012; Man & Jones, 1999).

En este estudio se utilizaron como indicadores críticos el pH, la acidez titulable, el grado alcohólico, el recuento de mohos y levaduras y la aceptabilidad sensorial. Como criterio de rechazo principal se estableció un pH crítico de 4.13, valor tomado de la literatura como límite de estabilidad microbiológica y sensorial (Fellows, 1994; Ara et al., 2018).

Las muestras con 0 % y 10 % de suero de leche se conservaron tanto en refrigeración (4 °C) como a temperatura ambiente (19 °C). Los análisis se efectuaron a

los 1, 9, 16, 22, 32 y 42 días. La vida útil se estableció como el periodo durante el cual los parámetros analizados permanecieron dentro de los valores aceptables. Los datos completos de evolución de cada variable se presentan en los anexos correspondientes.

Variables independientes:

- Condiciones de almacenamiento (temperatura ambiente y refrigeración).
- Tipo de muestra (control sin suero y mejor tratamiento con suero).

Variables dependientes: pH, acidez titulable, grado alcohólico.

El pH es un parámetro clave, ya que determina la estabilidad del alimento y la prolongación de su vida útil; la intensidad del tratamiento térmico y la duración de la conservación dependen en gran medida de este valor (Fellows, 1994).

Diseño experimental: Para la evaluación de la vida útil se aplicó un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) bajo un arreglo factorial $2 \times 2 \times 7$, en el que se incluyeron los siguientes factores:

Factor A: Porcentaje de suero lácteo (T1 = 0 %, T3 = 10 %)

Factor B: Condición de almacenamiento (C1 = refrigeración; C2 = temperatura ambiente)

Factor C: Tiempo de almacenamiento (0, 7, 14, 21, 28, 35 y 42 días)

Cada combinación de tratamiento y condición contó con tres réplicas independientes, totalizando 12 unidades experimentales por día de muestreo. Para cada punto temporal se emplearon botellas distintas, ya que las muestras eran destruidas luego de su análisis (p. ej. al abrir para medir grado alcohólico, pH, acidez y otros parámetros).

Tabla 8: *Matriz de diseño Vida útil*

Tratamiento	Condición	Réplica	D0	D7	D14	D21	D28	D35	D42
T1 (0 %)	Refrigerado	R1							
T1 (0 %)	Refrigerado	R2							
T1 (0 %)	Refrigerado	R3							
T1 (0 %)	Ambiente	R1							
T1 (0 %)	Ambiente	R2							
T1 (0 %)	Ambiente	R3							
T3 (10 %)	Refrigerado	R1							
T3 (10 %)	Refrigerado	R2							
T3 (10 %)	Refrigerado	R3							
T3 (10 %)	Ambiente	R1							
T3 (10 %)	Ambiente	R2							
T3 (10 %)	Ambiente	R3							

Diseño estadístico: Los datos se analizaron mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) factorial $2 \times 2 \times 7$, considerando los efectos principales del porcentaje de suero lácteo (A), la condición de almacenamiento (B) y el tiempo (C), así como sus interacciones (A×B, A×C, B×C, A×B×C). Cuando se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$), se utilizó la prueba de Tukey para realizar las comparaciones múltiples. El procesamiento de los datos se efectuó utilizando el software Minitab 19.

La variable dependiente principal fue el pH, dado que constituye un indicador determinante de la estabilidad del producto y se relaciona directamente con su vida útil (Fellows, 1994). El procesamiento estadístico se llevó a cabo mediante un ANOVA de dos vías con medidas repetidas, empleando el software Minitab, con el fin de determinar los efectos de los factores principales, sus interacciones y el impacto del tiempo sobre los valores de pH.

Procedimientos:

- **Determinación de pH**

El pH se evaluó empleando un potenciómetro digital calibrado previamente con soluciones buffer de pH 4.0 y 7.0, siguiendo las indicaciones de Fisher y Hart (1971). Para la lectura, se colocaron 50 mL de la muestra en un vaso de precipitación limpio, se introdujo el electrodo del instrumento y el valor se registró una vez que la medición se estabilizó. El pH es un indicador fundamental de la acidez activa y del avance del proceso fermentativo (Fisher & Hart, 1971).

- **Determinación de acidez titulable**

La determinación de la acidez titulable se realizó mediante una titulación volumétrica, utilizando hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N como solución titulante y azul de bromotimol como indicador, de acuerdo con el método oficial establecido por la AOAC (2016). Para llevar a cabo el análisis, se tomaron 10 mL de la muestra, los cuales se diluyeron con 20 mL de agua destilada; posteriormente, se tituló hasta obtener una coloración rosada persistente durante unos 30 segundos. Los resultados se expresaron en gramos de ácido láctico por cada 100 mL de muestra, empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez (\% ácido láctico)} = \frac{V \times N \times 0.009 \times 100}{m}$$

donde:

V = volumen de NaOH 0.1 N (mL),

N = normalidad del NaOH,
m = volumen de muestra (mL).

- **El contenido alcohólico**

Para la determinación del contenido alcohólico (% v/v) según la norma NTP 210.003:2003, se empleó el método combinado de picnómetro, pesado y destilación. En este procedimiento, la muestra se destila para separar el alcohol del resto de componentes, recolectando el destilado en un picnómetro previamente tarado. Luego, se pesa el picnómetro con el destilado para obtener la masa exacta del alcohol. A partir de este peso y considerando la densidad del alcohol a la temperatura de medición, se calcula el contenido alcohólico en porcentaje volumen/volumen (% v/v). Este método asegura una medición precisa y reproducible del alcohol presente en la muestra.

Diagrama de flujo:

Se presenta el flujo de procesos utilizado para cumplir con el objetivo específico 3, en el cual se analizó la vida útil en función del comportamiento del pH como parámetro fisicoquímico principal.

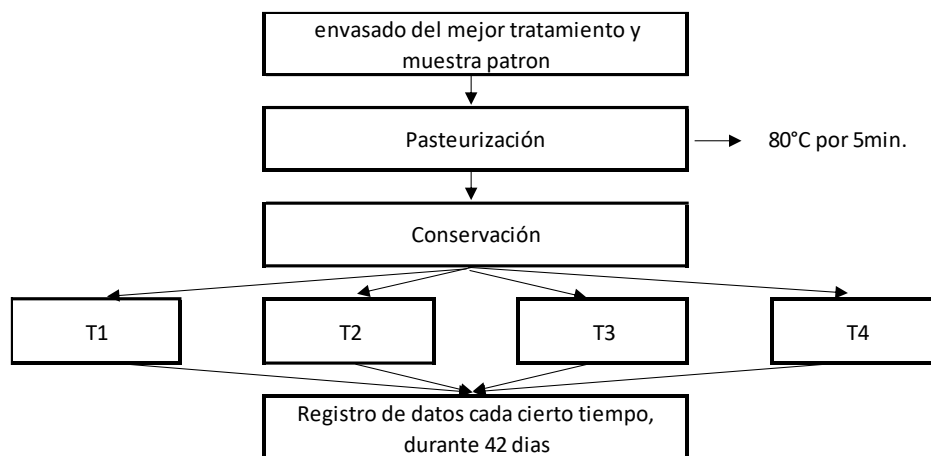


Figura 3: Diagrama de flujo para la obtención de datos de la vida útil de la bebida fermentada.

Nota. En la tabla anterior puede verse el esquema aplicado para la recopilación de los datos necesarios para cumplir con el tercer objetivo específico 3.

Análisis complementario:

El contenido total de antocianinas se cuantificó empleando el método diferencial de pH propuesto por Giusti y Wrolstad (2001). Para el análisis, los extractos se diluyeron en soluciones tampón con pH 1.0 (KCl 0.025 M) y pH 4.5 (acetato de sodio 0.4 M). Las

mediciones de absorbancia se efectuaron a 520 y 700 nm utilizando un espectrofotómetro, tomando como referencia la diferencia entre las lecturas obtenidas en ambos pH. La concentración de antocianinas se calculó como equivalentes de cianidina-3-glucósido (MW = 449.2 g/mol; $\epsilon = 26,900 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$), expresándose los resultados en mg de C3G/100 g de muestra.

3.6 Operacionalización de variables

Fue el proceso mediante el cual se convirtió una variable teórica en una variable empíricamente observable y medible. Cabe señalar que la variable que se operacionalizó correspondió a la variable dependiente, ya que presentó un comportamiento sujeto a variaciones.

Tabla 9: Operacionalización de variables

Operacionalización de variables				
Conceptualización	Categoría	Ítems		
VARIABLE INDEPENDIENTE = para el objetivo 1: porcentaje de adición del suero lácteo, para el objetivo 2 (tiempo de fermentación 24, 96 y 144 horas) y porcentaje de suero lácteo, para el objetivo 3 (tipo de bebida (control y mejor tratamiento experimental) y temperatura de almacenamiento (refrigerado y ambiente).				
Porcentaje de reconstitución del suero lácteo.	Fermentación alcohólica.	0% 5% 10% 15%		
VARIABLE DEPENDIENTE				
Conceptualización	Categoría	indicadores	Ítems	Técnica e instrumentos
Variable dependiente = características fisicoquímicas de la bebida fermentada a base de maíz morado				
Características fisicoquímicas de la bebida fermentada a base de maíz morado	Análisis	pH Acidez °Brix Viscosidad Color	Características fisicoquímicas	pHmetro Bureta Refractómetro Viscosímetro Refractómetro LICO 620
Variable dependiente = grado alcohólico				
Grado alcohólico de la bebida fermentada a base de maíz morado	Análisis	% v/v	Fermentación alcohólica	Picnómetro
Variable dependiente = vida útil				
Vida útil	Análisis	pH Acidez % v/v	Características fisicoquímicas	pHmetro Bureta Picnómetro

3.7 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

a. Técnicas

Se utilizaron técnicas cuantitativas de recolección de datos.

b. Instrumentos

La planificación para recopilar, analizar e interpretar la información se basó en métodos de observación y medición. Las propiedades fisicoquímicas se determinaron a partir de los datos obtenidos en el laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca, con la finalidad de identificar el tratamiento experimental más adecuado y alcanzar los resultados planteados

3.8 Procesamiento y análisis

Para el tratamiento de los datos se empleó un diseño completamente aleatorizado, considerando como factor el porcentaje de suero (0%, 5%, 10% y 15%). Cada condición experimental se ejecutó en tres repeticiones. La evaluación estadística incluyó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $p < 0.05$, utilizando un software especializado, además de la aplicación de pruebas no paramétricas complementarias

Se empleó el programa Minitab para efectuar el procesamiento estadístico. Este software, desarrollado para funcionar en entorno Windows, permite realizar desde cálculos básicos de estadística descriptiva hasta la generación de gráficos útiles para el análisis de los resultados.

El análisis de varianza (ANOVA) se empleó con el propósito de evaluar si existían diferencias entre las medias de las distintas poblaciones estudiadas. Esta técnica permitió determinar el efecto de uno o más factores al comparar los valores promedio de la variable de interés en sus distintos niveles. Además, el procesamiento y organización de la información se complementó con el uso de los programas Word y Excel.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se muestran conforme a los tres objetivos específicos planteados, en orden metodológico y con base en los análisis estadísticos aplicados. Se reportan los valores medios de cada variable dependiente por tratamiento, acompañados de su respectiva discusión técnica. Las tablas y figuras que acompañan este capítulo muestran de forma resumida los valores experimentales obtenidos.

4.1 Características fisicoquímicas de la bebida fermentada alcohólica de maíz morado con diferentes porcentajes de suero de leche

Se detallaron los promedios de acidez, pH, grados Brix, viscosidad, color y densidad para cada uno de los porcentajes de suero lácteo añadidos (0%, 5%, 10% y 15%). Esta prueba se realizó durante 7 días consecutivos, evaluando cada día la chicha de jora para observar su comportamiento.

4.1.1 Acidez titulable

En la Tabla 7 se presentan los valores promedio de acidez titulable (% ácido láctico) durante siete días de fermentación en los tratamientos con 0%, 5%, 10% y 15% de suero lácteo.

Tabla 10: *Acidez titulable promedio (% ácido láctico) durante la fermentación*

Día	0% Suero	5% Suero	10% Suero	15% Suero
1	1.35 ± 0.45 %	1.59 ± 0.23 %	1.71 ± 0.16 %	2.25 ± 0.45 %
2	2.40 ± 0.52 %	3.00 ± 0.52 %	2.71 ± 0.43 %	2.55 ± 0.26 %
3	3.90 ± 0.52 %	3.75 ± 0.69 %	3.75 ± 0.52 %	3.90 ± 0.52 %
4	4.50 ± 0.00 %	3.60 ± 0.00 %	4.20 ± 0.52 %	4.20 ± 0.52 %
5	4.80 ± 0.52 %	4.50 ± 0.00 %	4.65 ± 0.26 %	4.50 ± 0.00 %
6	4.35 ± 0.26 %	4.35 ± 0.26 %	4.20 ± 0.26 %	4.05 ± 0.45 %
7	4.65 ± 0.69 %	4.80 ± 1.04 %	4.95 ± 0.78 %	4.65 ± 0.94 %

La gráfica muestra que los valores promedio de acidez son muy similares entre los diferentes porcentajes de suero (0 %, 5 %, 10 % y 15 %), y además los intervalos de confianza se superponen ampliamente. Esto sugiere que el nivel de suero incorporado no genera variaciones estadísticamente significativas en la acidez titulable, lo cual es coherente

con lo observado en el análisis ANOVA. En otras palabras, el porcentaje de suero no modifica la acidez del producto, manteniéndose estable independientemente del tratamiento.

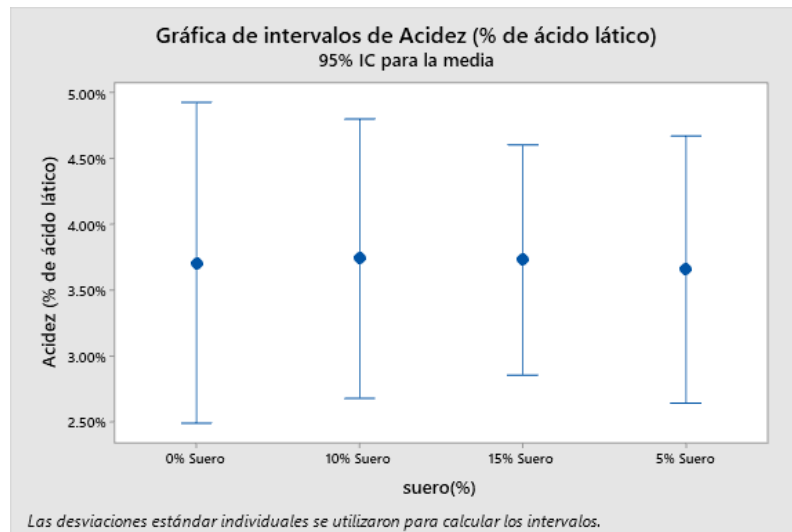


Figura 4: Intervalos de confianza (95%) de la acidez según porcentaje de suero adicionado.

La acidez titulable mostró una tendencia ascendente en todos los tratamientos, con incrementos marcados en los tres primeros días de fermentación, alcanzando valores máximos entre los días 4 y 5 (4.20%–4.80%). En el día 6 se observó una ligera disminución, seguida de un nuevo aumento en el día 7, donde los tratamientos con 5% y 10% de suero alcanzaron 4.80% y 4.95%, respectivamente. Este comportamiento “subida–bajada–subida” es característico de fermentaciones con comunidades microbianas diversas, donde diferentes microorganismos predominan en distintas fases del proceso. Según Bustamante Vásquez (2019), este patrón es común en chicha de jora, producto de la interacción entre fermentaciones aeróbicas y heterofermentativas.

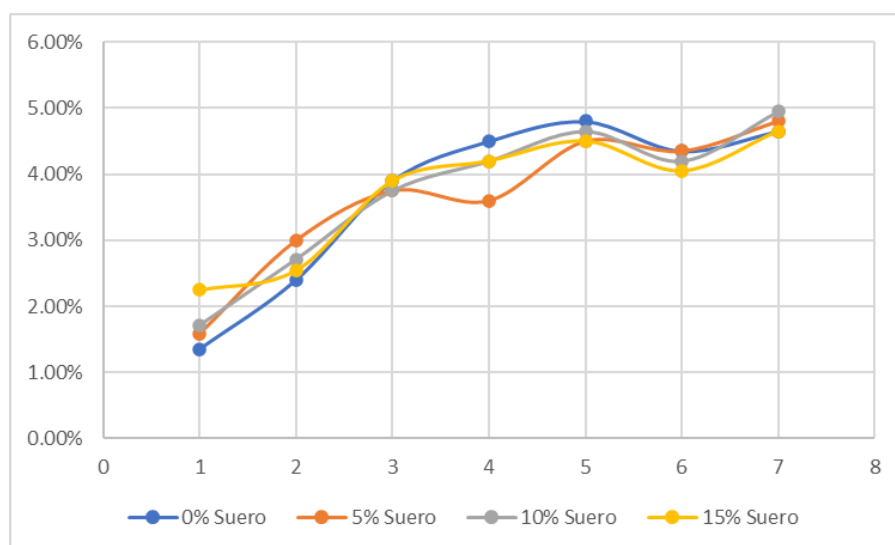


Figura 5: Acidez titulable promedio durante la fermentación

Asimismo, se observa que los tratamientos que incluyen una mayor proporción de suero (10% y 15%) lograron mantener una acidez elevada y estable hacia el final del proceso, lo cual puede atribuirse a la presencia de lactosa, que actúa como sustrato adicional para la fermentación.

Se confirmó que la información registrada satisfacía los criterios estadísticos de normalidad ($p = 0.093$) y de igualdad de varianzas ($p = 0.871$). El ANOVA indicó que el porcentaje de suero no tuvo un efecto significativo sobre la acidez ($p = 0.935$), lo que demuestra que los distintos niveles de suero del 0 % al 15 % generaron valores muy similares entre sí. La prueba de Tukey confirmó esta ausencia de diferencias, ya que todas las medias pertenecieron a un mismo grupo estadístico. En contraste, el tiempo de fermentación sí mostró un efecto altamente significativo ($p = 0.000$), siendo el principal responsable del aumento progresivo de la acidez a lo largo de los siete días. Esto evidencia que, aunque el suero influye en otros parámetros, no modifica la acidez titulable del producto, la cual depende mayormente del avance de la fermentación (ver Anexo 5.1: Acidez).

Lo obtenido concuerda con lo señalado por Paredes Bucheli (2021), quien indica que en bebidas fermentadas de maíz la acidez se incrementa principalmente por efecto del tiempo de fermentación y no necesariamente por la variación de ingredientes. Este comportamiento también coincide con lo descrito por Bustamante Vásquez (2019), quien atribuye las variaciones de acidez a la dinámica de comunidades microbianas mixtas presentes en procesos fermentativos tradicionales, como la elaboración de chicha de jora. De manera complementaria, Champi Checya y Taype Ccahua (2018) observaron que, en bebidas a base de maíz morado germinado, la acidez sigue un patrón similar de incremento sostenido asociado a la actividad de bacterias lácticas y levaduras. En resumen, los hallazgos obtenidos en esta investigación demuestran que el tiempo de almacenamiento y la actividad microbiana son los factores determinantes en la evolución de la acidez, más que la adición de suero lácteo.

4.1.2 pH

El nivel de lactosuero incorporado mostró un efecto significativo sobre el pH de la bebida ($p < 0.05$). Los tratamientos con mayor adición de suero (M3: 10% y M4: 15%) mantuvieron valores de pH más altos durante todo el almacenamiento, mientras que la muestra control (M1: 0%) presentó la mayor acidificación. Este comportamiento confirma

el efecto tamponador del lactosuero, lo cual modera la reducción del pH debido a la presencia de sus componentes de proteínas y sales minerales.

Tabla 11: *pH promedio durante la fermentación*

Día	0% Suero	5% Suero	10% Suero	15% Suero
1	5.41 ± 0.06	5.42 ± 0.06	5.46 ± 0.05	5.46 ± 0.02
2	4.17 ± 0.12	4.27 ± 0.08	4.44 ± 0.13	4.52 ± 0.10
3	3.92 ± 0.07	4.02 ± 0.11	4.12 ± 0.09	4.21 ± 0.06
4	3.76 ± 0.05	3.83 ± 0.06	3.95 ± 0.05	4.00 ± 0.04
5	3.70 ± 0.06	3.80 ± 0.03	3.87 ± 0.02	3.90 ± 0.03
6	3.72 ± 0.03	3.81 ± 0.02	3.87 ± 0.03	3.93 ± 0.04
7	3.79 ± 0.07	3.84 ± 0.06	3.89 ± 0.03	3.94 ± 0.01

La figura 6 muestra que los tratamientos con mayor porcentaje de suero (10 % y 15 %) mantienen valores de pH más altos, evidenciando una menor acidificación. El 15 % presenta el promedio más elevado, seguido de cerca por el 10 %, cuyos intervalos de confianza se superponen, indicando que no difieren mucho entre sí. En contraste, los tratamientos con 5 % y 0 % registran pH más bajos y sus intervalos no se superponen con los de 10 % y 15 %, lo que evidencia que el pH aumenta conforme se incrementa la proporción de suero.

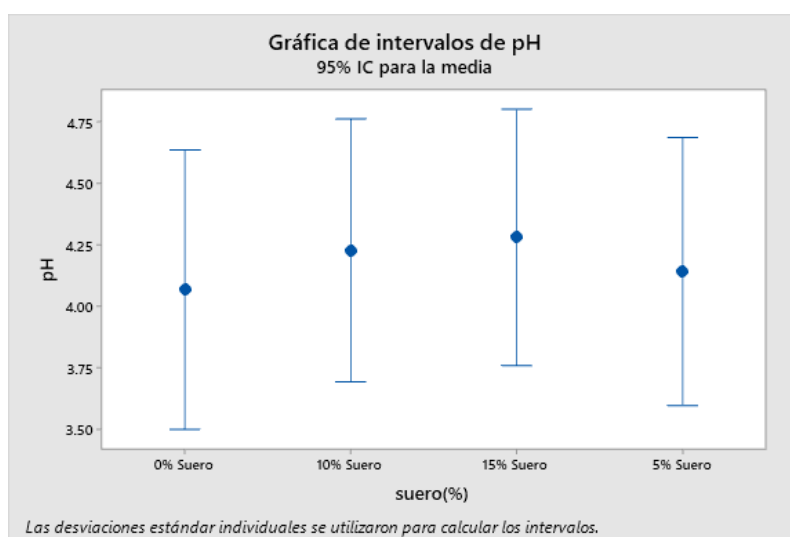


Figura 6: *Intervalos de confianza del pH según porcentaje de suero*

Los resultados muestran que el pH fue sensible a los cambios en el porcentaje de suero lácteo, presentando diferencias significativas entre tratamientos. Esto ocurre porque el pH responde a variaciones pequeñas en la concentración de iones H⁺ y en la capacidad tampón del sistema. En cambio, la acidez titulable no mostró diferencias significativas, lo

que indica que la cantidad total de ácidos no varió en la misma proporción (Aydogdu et al. 2023), quienes explican que el pH y la acidez miden aspectos distintos del sistema ácido-base, por lo que no siempre cambian de manera paralela.

El mayor descenso del pH ocurrió entre los días 1 y 2, evidenciando alta actividad de levaduras y bacterias ácido-lácticas. Posteriormente, la disminución fue más moderada, alcanzando estabilidad hacia los días 6 y 7, lo que sugiere un equilibrio fermentativo o menor disponibilidad de sustratos

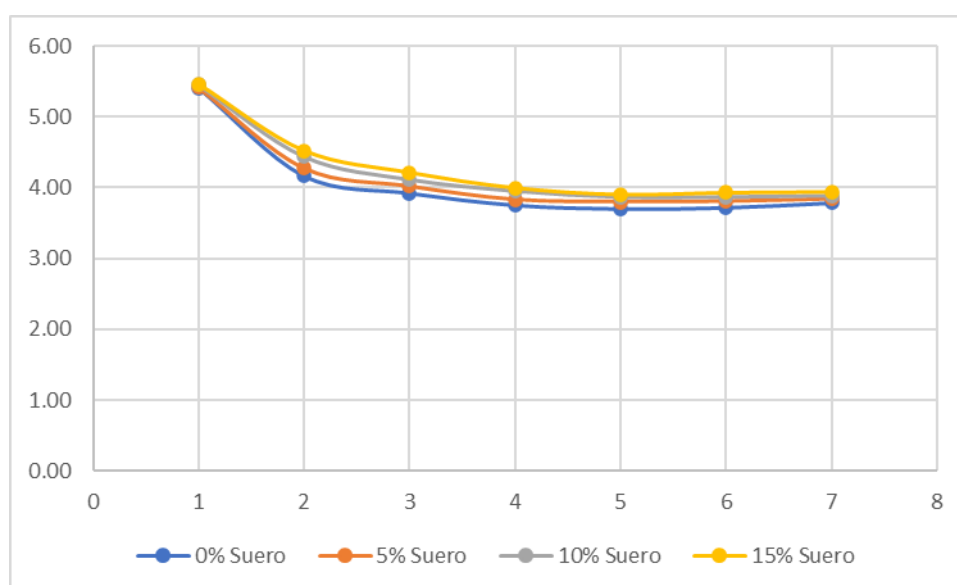


Figura 7: pH promedio durante la fermentación

El estudio evidenció que la proporción de suero lácteo influyó significativamente en el pH ($p < 0.001$). Aunque los días de fermentación, usados como bloque, reflejaron la variación natural del proceso, se constató que las formulaciones con mayor proporción de suero conservaron niveles de pH más elevados a lo largo del proceso fermentativo. Destaca especialmente el 15 %, que obtuvo el promedio más elevado (4.28), seguido muy de cerca por el 10 % (4.23). Estos valores superiores muestran que incrementar el porcentaje de suero ayuda a moderar la disminución del pH, siendo el 10 % una alternativa adecuada para controlar la acidificación sin llegar a los niveles más altos del 15 % (ver Anexo 5.2: pH).

Los hallazgos de este trabajo son consistentes con lo señalado por Ara et al. (2018), quienes señalaron que en la chicha de jora el pH disminuye progresivamente a causa de la generación de compuestos ácidos durante el proceso fermentativo. No obstante, la adición de suero lácteo evidenció un efecto moderador en esta caída, lo que respalda lo indicado por Arias y Quilapanta (2020), quienes destacan que el lactosuero actúa como agente

amortiguador gracias a su contenido de proteínas y minerales, estabilizando las variaciones de pH en bebidas fermentadas. De manera complementaria, Rabanal y Medina (2021) sostienen que los compuestos fenólicos del maíz morado, en particular las antocianinas, pueden interactuar con los ácidos presentes y contribuir a la moderación de los descensos bruscos de pH. En conjunto, estos hallazgos demuestran que la adición de suero de leche no solo modifica, sino que mejora la estabilidad fisicoquímica de la bebida fermentada de maíz morado, cumpliendo así con lo planteado en el objetivo de este estudio.

4.1.3 °Brix

La Tabla 9 muestra los promedios de °Brix registrados a lo largo de los siete días de fermentación en los tratamientos que contenían 0%, 5%, 10% y 15% de suero lácteo. Los datos evidencian que la incorporación de suero tuvo un efecto significativo sobre la dinámica de los sólidos solubles en la bebida.

Tabla 12: °Brix promedio durante la fermentación

Día	0% Suero	5% Suero	10% Suero	15% Suero
1	15.07 ± 0.67	15.07 ± 0.25	14.80 ± 0.36	15.43 ± 0.21
2	10.90 ± 0.56	10.73 ± 0.25	10.93 ± 0.23	11.23 ± 0.15
3	8.43 ± 0.49	8.33 ± 0.68	7.93 ± 0.40	8.13 ± 0.15
4	5.20 ± 0.30	5.33 ± 0.06	5.80 ± 0.36	6.03 ± 0.06
5	4.50 ± 0.17	4.40 ± 0.17	4.70 ± 0.17	5.00 ± 0.00
6	4.30 ± 0.46	4.60 ± 0.30	4.67 ± 0.51	4.90 ± 0.26
7	4.47 ± 0.12	4.30 ± 0.17	4.40 ± 0.20	4.73 ± 0.06

La Figura 8 evidencia que los promedios registrados de °Brix varían ligeramente entre tratamientos, destacando que el 15 % de suero presenta el valor más alto, lo que indica un dulzor más marcado, incluso excesivo para una bebida fermentada. En cambio, el 10 % de suero mantiene un nivel de °Brix moderado y estable, adecuado para conservar un equilibrio entre dulzor y fermentación. Los intervalos de confianza se superponen parcialmente, pero reflejan la tendencia de que un mayor porcentaje de suero tiende a conservar más azúcares disponibles.

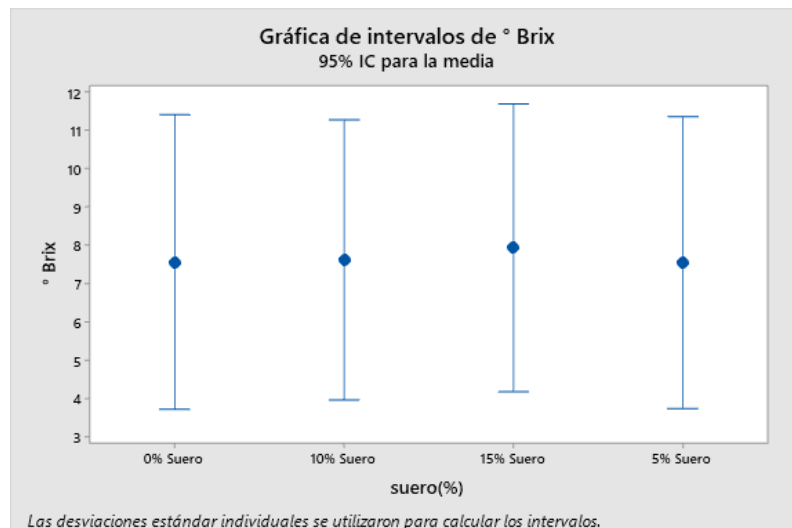


Figura 8: Intervalos de confianza (95%) de °Brix según porcentaje de suero adicionado.

Desde el inicio, los tratamientos mostraron valores cercanos a 15 °Brix. Durante los tres primeros días se evidenció una fuerte disminución en la concentración de sólidos solubles, reflejo de la intensa actividad fermentativa de las levaduras. Sin embargo, los tratamientos con 10% y 15% de suero conservaron mayores niveles de °Brix (5.80 y 6.03, respectivamente) en comparación con los de menor adición, lo que sugiere la presencia de azúcares residuales como la lactosa.

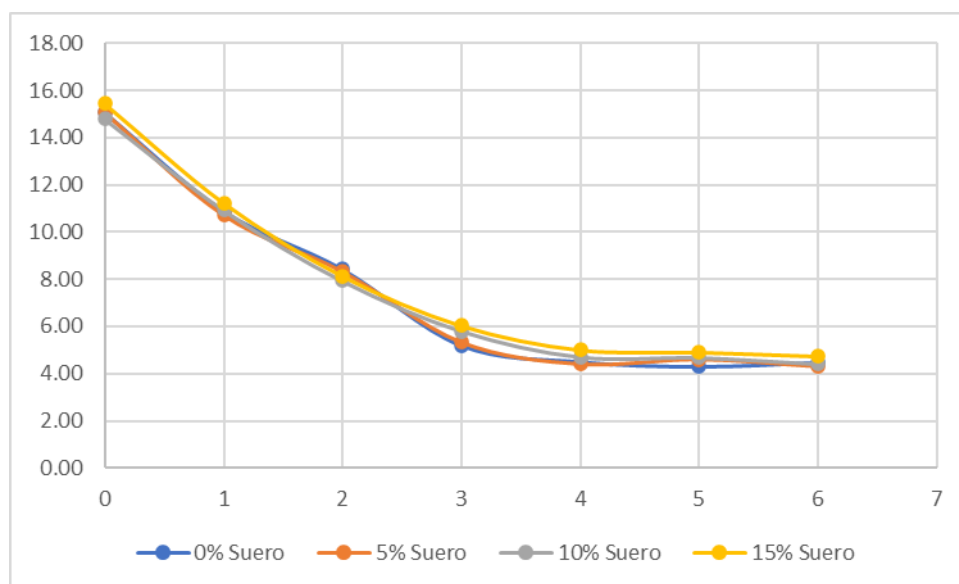


Figura 9: Sólidos solubles totales

Los resultados obtenidos satisfacen los criterios estadísticos de normalidad ($p = 0.1$) y de uniformidad de varianzas ($p = 0.159$). El ANOVA mostró que el porcentaje de suero sí tuvo un efecto significativo sobre los valores de °Brix ($p = 0.007$), en cambio, la duración

del proceso fermentativo mostró un impacto altamente significativo ($p = 0.000$). La prueba de Tukey indicó que el tratamiento con 15 % de suero alcanzó el valor promedio más alto (7.92 °Brix), pero el 10 % de suero (7.60 °Brix) se mantuvo como una opción más equilibrada, ubicándose consistentemente por encima de los tratamientos 0 % y 5 %, y mostrando una buena estabilidad durante la fermentación. En general, los °Brix disminuyeron de 15.09 el día 1 a 4.47 el día 7 debido al consumo de azúcares, pero el 10 % de suero destacó como un nivel adecuado para conservar dulzor sin afectar el progreso normal de la fermentación (ver Anexo 5.3: °Brix).

Los resultados demuestran que la adición de suero lácteo modificó el comportamiento de la concentración de sólidos solubles a lo largo del proceso fermentativo de la bebida de maíz morado, cumpliendo el objetivo planteado. Estos hallazgos concuerdan con lo señalado por Parra (2009), quien destaca que el lactosuero aporta lactosa y proteínas séricas que no siempre son totalmente aprovechadas por las levaduras, contribuyendo a un incremento en el contenido de °Brix final. De forma similar, Cardona et al. (2021) reportaron que, en la fermentación de lactosuero, la disponibilidad de carbohidratos residuales condiciona el nivel de azúcares no fermentados al cierre del proceso. Asimismo, Coca y Galvis (2022) evidenciaron que la incorporación de lactosuero en bebidas isotónicas influye en el equilibrio entre dulzor, acidez y perfil organoléptico, lo cual ofrece soporte a los hallazgos obtenidos en esta investigación.

En este sentido, el 15% de suero retuvo el mayor nivel de °Brix, pero el 10% ofreció un balance más adecuado entre dulzor, acidez y atributos sensoriales, consolidándose como el tratamiento más recomendable.

4.1.4 Viscosidad

La Tabla 10 muestra la evolución de la viscosidad promedio de la bebida tipo chicha de jora elaborada con maíz morado y distintos porcentajes de suero lácteo durante los siete días de fermentación.

Tabla 13: *Viscosidad promedio (cP) durante la fermentación*

Día	0% Suero	5% Suero	10% Suero	15% Suero
1	5.07 ± 0.45	5.27 ± 0.35	5.47 ± 0.31	5.57 ± 0.06
2	5.93 ± 0.90	6.37 ± 1.08	6.90 ± 0.95	6.73 ± 0.38
3	6.00 ± 0.20	6.17 ± 0.64	6.70 ± 0.69	7.13 ± 0.64
4	5.80 ± 0.50	6.03 ± 0.87	6.23 ± 0.81	6.50 ± 0.17
5	5.23 ± 0.25	5.53 ± 0.35	6.27 ± 0.25	6.37 ± 0.64
6	5.27 ± 0.47	5.33 ± 0.51	5.57 ± 0.38	5.50 ± 0.26
7	4.63 ± 0.23	4.77 ± 0.38	4.80 ± 0.26	4.57 ± 0.12

La figura 10 muestra que la viscosidad aumenta conforme se incrementa el porcentaje de suero adicionado. Los tratamientos con 10 % y 15 % de suero presentan los valores más altos, con intervalos de confianza que se superponen, lo que indica que ambos mantienen una consistencia similar. En contraste, los tratamientos con 0 % y 5 % muestran viscosidades menores, evidenciando una textura más fluida. Este comportamiento confirma que la incorporación de suero tiene un impacto directo en la textura y consistencia de la bebida, destacándose el 10 % como un nivel que aporta una viscosidad adecuada sin llegar a ser excesiva.

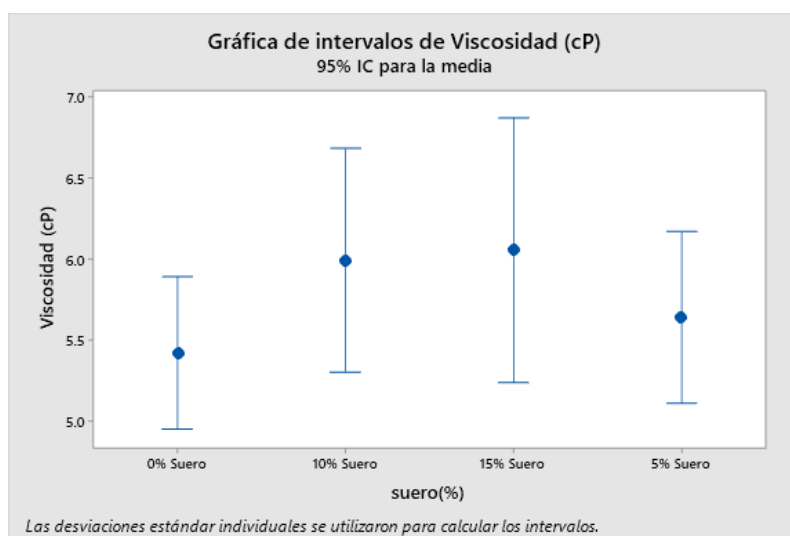


Figura 10: Intervalos de confianza (95%) de la viscosidad según porcentaje de suero adicionado.

Los hallazgos evidencian que la adición de lactosuero influyó de manera significativa en la viscosidad del producto. Los tratamientos con 10% (5.99 cP) y 15% (6.05 cP) registraron los valores más altos, sin diferencias estadísticas entre ellos, pero superando a los de 5% (5.64 cP) y 0% (5.42 cP).

La viscosidad alcanzó sus niveles más altos entre los días 1 y 2 (valores superiores a 6.4 cP), mientras que la tendencia general fue una disminución progresiva hacia el día 6, donde se observaron los mínimos promedios (≈ 4.69 cP). El valor máximo se registró en el tratamiento con 15% de suero en el día 2 (7.13 cP). No obstante, el tratamiento con 10% de suero mantuvo un comportamiento más homogéneo, lo que lo posiciona como la alternativa más estable para conservar una textura agradable durante todo el proceso.

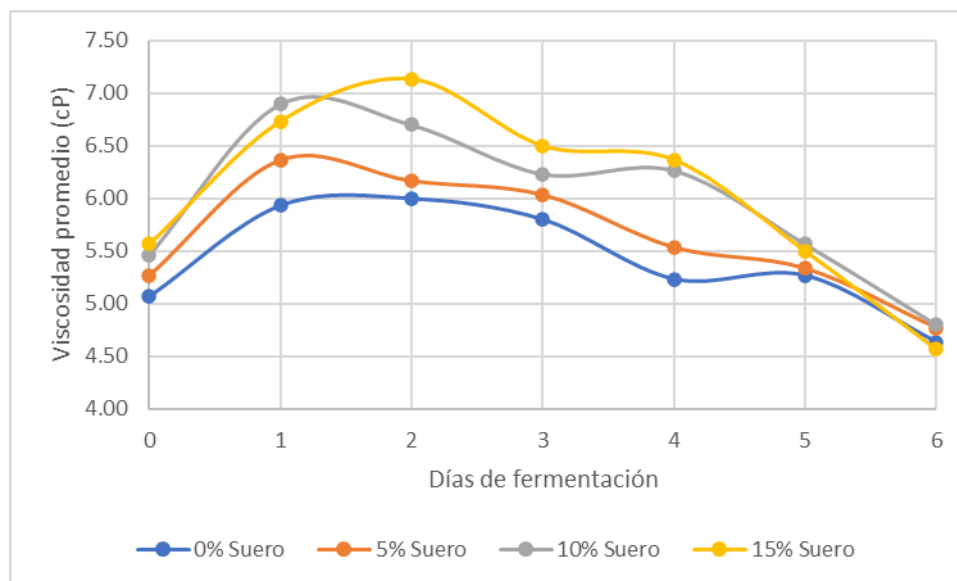


Figura 11: Viscosidad promedio (cP)

Se verificó que los datos satisfacían los criterios de normalidad ($p > 0.1$) y de uniformidad de varianzas ($p = 0.261$). El ANOVA reveló que tanto el nivel de suero incorporado como el tiempo de fermentación ejercieron un efecto significativo sobre la viscosidad, registrándose un valor de $p = 0.000$ para ambos factores. En términos generales, la viscosidad disminuyó a lo largo del proceso fermentativo, pasando de valores cercanos a 6.5 cP en los primeros días a alrededor de 4.69 cP al finalizar la fermentación. La prueba de Tukey mostró que los tratamientos con 15 % y 10 % de suero alcanzaron las viscosidades más altas y estadísticamente similares, destacándose que el 10 % ofreció una consistencia estable y adecuada, sin llegar a ser excesivamente espesa. Esto sugiere que el 10 % de suero constituye una opción equilibrada para mantener una textura agradable y uniforme en la bebida (ver Anexo 5.4: Viscosidad).

Los resultados demuestran que la incorporación de suero lácteo incrementó la viscosidad inicial y favoreció su estabilidad durante la fermentación, lo cual permitió cumplir con la finalidad de analizar su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas. Este comportamiento coincide con lo reportado por Prado (2004), quien indicó que el uso de lactosuero en bebidas fermentadas aporta sólidos de naturaleza proteica que aumentan la densidad y viscosidad del medio. De manera complementaria, Capdevila et al. (2020) señalaron que la hidrólisis de la lactosa y la presencia de proteínas séricas contribuyen a mejorar la estabilidad coloidal durante la fermentación, reduciendo la sedimentación. Asimismo, Rondón del Carpio (2014) observó que la combinación de suero con maíz

morado en bebidas nutracéuticas favorece la consistencia del producto y mantiene una textura más homogénea a lo largo del almacenamiento.

El tratamiento con 10% de suero se destacó por ofrecer un balance adecuado: aumentó la viscosidad sin alcanzar valores excesivos y mantuvo estabilidad durante todo el proceso. Esto puede atribuirse a la presencia de proteínas y lactosa del suero, que confieren mayor cuerpo y densidad a la bebida fermentada.

Comportamiento reológico de la bebida fermentada

Según el procedimiento aplicado, la viscosidad de la bebida fermentada fue determinada como un valor promedio a condiciones constantes de medición, sin variar la velocidad de corte. Bajo este enfoque, la bebida tipo chicha de jora elaborada con maíz morado y suero lácteo puede considerarse un fluido de comportamiento newtoniano, ya que la viscosidad se expresó como un valor constante para cada tratamiento y tiempo de fermentación.

Este comportamiento es característico de bebidas fermentadas con bajo a moderado contenido de sólidos suspendidos, donde la viscosidad depende principalmente de la concentración de sólidos solubles y no del esfuerzo de corte aplicado. Si bien la adición de suero lácteo incrementó la viscosidad del sistema, especialmente en los tratamientos con 10 % y 15 %, los valores obtenidos (entre 4.57 y 7.13 cP) corresponden a rangos típicos de bebidas fluidas, sin evidenciar comportamientos pseudoplásticos o dilatantes propios de fluidos no newtonianos.

En este contexto, el tratamiento con 10 % de suero lácteo mantuvo un comportamiento reológico estable y homogéneo durante la fermentación, lo que refuerza su selección como el tratamiento más recomendable desde el punto de vista de la textura y consistencia del producto final.

4.1.5 Color (CIELAB)

El cambio de color de la bebida se atribuye principalmente debido al deterioro de las antocianinas y a los procesos de oxidación que afectan a los compuestos fenólicos durante la fermentación, procesos que generan la transición del negro/púrpura inicial hacia tonalidades marrones y rojizas. Visualmente, este cambio pareció más notorio en los tratamientos con mayor adición de suero lácteo; sin embargo, el análisis estadístico ($p >$

0.05) demostró que dichas variaciones no fueron significativas, confirmando que el factor determinante del color final fue el tiempo de fermentación y no el porcentaje de suero.

Tabla 14: *Evolución del color (CIELAB) de la bebida fermentada según día y porcentaje de lactosuero*

Día	% Lactosuero	L	a*	b*	C*	h° (°)
1	0%	0.19	0.92	0.31	0.97	18.62
1	5%	0.10	0.49	0.16	0.52	18.08
1	10%	0.02	0.10	0.03	0.10	16.70
1	15%	0.02	0.06	0.01	0.06	9.46
2	0%	0.06	0.33	0.09	0.34	15.26
2	5%	0.10	0.49	0.16	0.52	18.08
2	10%	0.04	0.20	0.05	0.21	14.04
2	15%	0.04	0.18	0.05	0.19	15.52
3	0%	0.11	0.51	0.17	0.54	18.43
3	5%	0.11	0.50	0.18	0.53	19.80
3	10%	0.05	0.26	0.08	0.27	17.10
3	15%	0.06	0.29	0.10	0.31	19.03
4	0%	0.10	0.49	0.17	0.52	19.13
4	5%	0.13	0.51	0.19	0.54	20.43
4	10%	0.11	0.44	0.17	0.47	21.12
4	15%	0.18	0.69	0.28	0.74	22.09
5	0%	0.13	0.59	0.20	0.62	18.73
5	5%	0.15	0.62	0.23	0.66	20.35
5	10%	0.10	0.49	0.16	0.52	18.08
5	15%	0.07	0.29	0.10	0.31	19.03
6	0%	0.54	2.29	0.87	2.45	20.80
6	5%	0.84	3.11	1.33	3.38	23.15
6	10%	2.17	6.68	3.24	7.42	25.87
6	15%	3.10	8.44	4.46	9.55	27.85
7	0%	0.71	3.01	1.15	3.22	20.91
7	5%	0.58	2.24	0.94	2.43	22.77
7	10%	3.18	9.89	4.74	10.97	25.61
7	15%	5.12	14.46	7.39	16.24	27.07

Durante los días 1 al 5, los valores de L*, a*, b* y C* se mantuvieron muy bajos, indicando una baja luminosidad y escasa saturación del color, lo que corresponde a un tono negro muy oscuro propio de las primeras etapas de fermentación. En este periodo, el ángulo de tono (h°) mostró valores cercanos a 15–20°, asociados a tonalidades rojizas muy apagadas.

A partir de los días 6 y 7, se observó un incremento notable en L^* , a^* , b^* y especialmente en C^* , indicando una mayor intensidad y saturación del color. Paralelamente, el ángulo h° aumentó ligeramente, reflejando una transición hacia tonalidades marrón oscuro a marrón rojizo intenso. Este comportamiento conjunto de los parámetros CIELAB evidencia la degradación de pigmentos iniciales y la formación de compuestos de pardeamiento, propios del avance y maduración del proceso fermentativo.

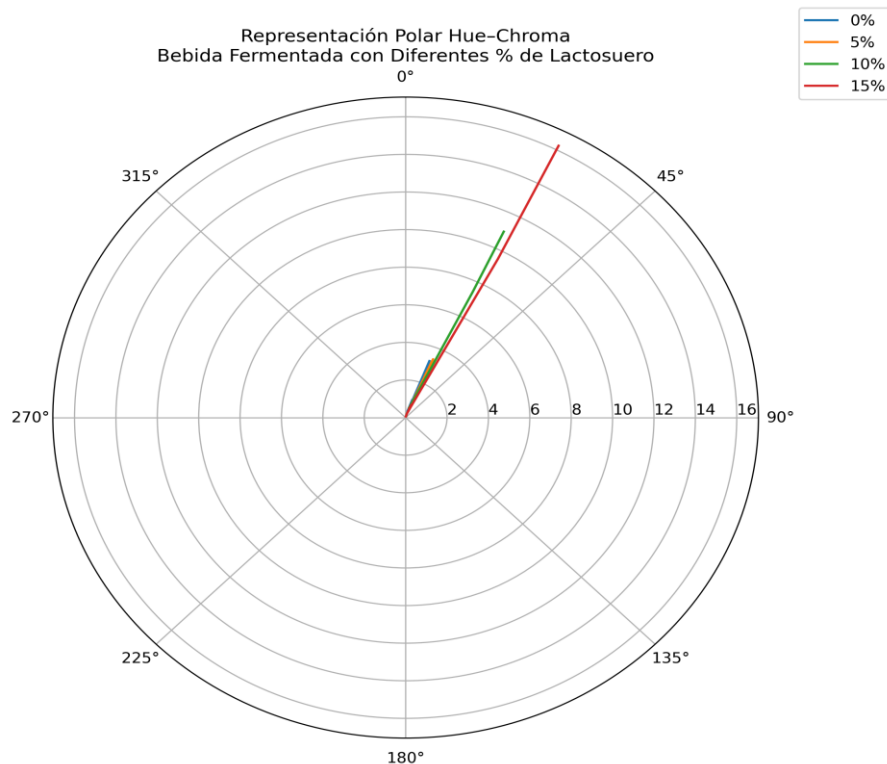


Figura 12: Representación polar del color (Hue–Chroma) para los tratamientos

El gráfico polar Hue–Chroma muestra que el matiz (Hue) de la bebida fermentada se mantiene relativamente estable dentro de rangos asociados a tonalidades amarillas, mientras que la saturación del color (C^*) tiende a incrementarse hacia los últimos días del almacenamiento, con valores más elevados en los tratamientos con 10% y 15% de lactosuero durante los días 6 y 7. Esta representación permite visualizar que, independientemente del tratamiento, el color adquiere mayor intensidad conforme avanza la fermentación, destacándose un aumento progresivo de la saturación cromática en la fase final del proceso. En conjunto, el gráfico evidencia principalmente la evolución temporal del color y cómo esta se refleja en la intensidad cromática registrada en los distintos niveles de lactosuero.

La prueba de Friedman evidenció que los valores de L^* (luminosidad), a^* (tono rojizo) y b^* (tono amarillento) variaron de manera significativa en función del día de

fermentación, obteniéndose $p = 0.003$ para L^* y b^* , y $p = 0.004$ para a^* . Esto confirma que el tiempo de fermentación influyó de manera importante en la evolución del color.

En contraste, cuando se evaluó el efecto del porcentaje de suero, los valores p fueron mayores a 0.05 para L^* , a^* y b^* ($p = 0.653$; $p = 0.615$; $p = 0.653$), lo que demuestra que la presencia de lactosuero no ejerció un efecto estadísticamente significativo en la tonalidad del producto. Las diferencias observadas visualmente en los días finales se deben principalmente al avance de la fermentación y no al nivel de suero adicionado (Ver Anexo 5.5: Color).

Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Castañeda et al. (2021) en bebidas fermentadas de maíz morado, donde se evidenció que el tiempo de fermentación provoca incrementos en L^* , a^* y b^* , asociados a la degradación de antocianinas y la formación de compuestos de pardeamiento, originando la transición de tonalidades oscuras hacia marrones rojizos.

De igual modo, lo encontrado coincide con Huamán y Valdez (2019), quienes señalaron que en chicha de jora con adición de proteína láctea las variaciones cromáticas se debieron principalmente al avance de la fermentación más que a la formulación. En conclusión, el factor determinante del cambio de color fue el tiempo de fermentación, mientras que la adición de suero lácteo tuvo un efecto secundario y no estadísticamente significativo en las coordenadas cromáticas CIELAB.

4.1.6 Densidad de masa residual

A lo largo del proceso de fermentación alcohólica de la bebida producida a partir de maíz morado, se evaluó la densidad de masa residual mediante el método del picnómetro de 25 mL a una temperatura promedio de 18 °C. Este parámetro permitió estimar de manera indirecta el contenido de sólidos disueltos no fermentados, tales como azúcares residuales, proteínas y otros compuestos.

Tabla 15: *Densidad de masa residual (g/mL)*

Día	0% Suero	5% Suero	10% Suero	15% Suero
1	1.056 ± 0.002	1.057 ± 0.001	1.056 ± 0.003	1.059 ± 0.000
2	1.028 ± 0.003	1.028 ± 0.003	1.031 ± 0.004	1.032 ± 0.004
3	1.017 ± 0.009	1.015 ± 0.013	1.021 ± 0.011	1.025 ± 0.009
4	1.014 ± 0.018	1.019 ± 0.004	1.021 ± 0.003	1.024 ± 0.003
5	1.010 ± 0.008	1.013 ± 0.005	1.014 ± 0.003	1.013 ± 0.002
6	1.011 ± 0.005	1.013 ± 0.003	1.014 ± 0.000	1.014 ± 0.000
7	1.013 ± 0.002	1.014 ± 0.002	1.014 ± 0.001	1.015 ± 0.001

En relación con la adición de suero, las muestras con 10% (M3) y 15% (M4) conservaron mayores valores de densidad que los tratamientos con 0% (M1) y 5% (M2). Esto sugiere que el suero aporta sólidos no fermentables (lactosa, proteínas y minerales) que permanecen en el sistema y contribuyen a un mayor valor residual.

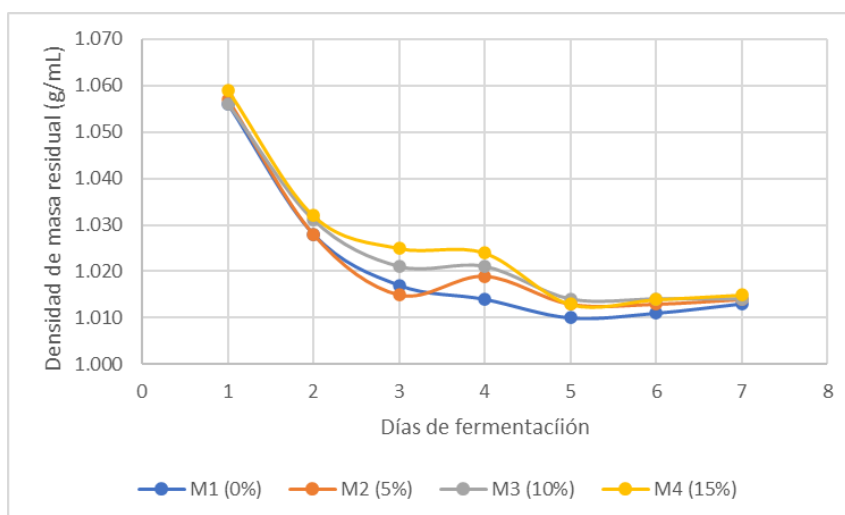


Figura 13: Densidad de masa residual

Los resultados evidencian una disminución progresiva de la densidad desde el día 0 hasta el día 4, reflejando la utilización de los azúcares por las levaduras y la consecuente generación de etanol (de menor densidad que el agua). A partir del día 5, los valores se estabilizaron, indicando el ingreso a la fase final de fermentación. La prueba de Friedman reveló que tanto el día de fermentación ($p = 0.001$) como el porcentaje de suero ($p = 0.002$) tuvieron efectos significativos sobre la densidad de masa residual (Ver Anexo 5.6: Densidad de masa residual).

En función del tiempo, la densidad se redujo desde un promedio de 1.0576 g/mL en el día 0 hasta valores mínimos en los días 4 y 5 (~1.013 g/mL), con una ligera recuperación posterior.

En función del suero, la mediana de densidad aumentó levemente conforme creció el nivel de adición: de 1.0178 g/mL (0%) a 1.0210 g/mL (15%). Esto confirma que el suero contribuyó a mantener una densidad más alta a lo largo de la fermentación.

Estos resultados concuerdan con lo descrito por Bustamante (2019) en bebidas de chicha de jora, donde la densidad disminuyó progresivamente durante la fermentación debido al consumo de azúcares y a la producción de etanol, estabilizándose hacia el final del proceso. De manera similar, Cardona et al. (2021) señalaron que la presencia de lactosuero

aporta sólidos no fermentables, como proteínas y minerales, que tienden a incrementar la densidad residual de las bebidas fermentadas. Asimismo, Rondón del Carpio (2014) evidenció que la incorporación de suero de leche en combinación con maíz morado genera un producto con mayor cuerpo y estabilidad, atribuible al aporte de componentes séricos que no son metabolizados por la levadura.

De este modo, se confirma que, aunque el suero no modifica la reducción inicial de densidad propia de la fermentación alcohólica, sí influye en el valor residual, mejorando tanto la consistencia como la estabilidad fisicoquímica de la bebida.

4.2 Producción alcohólica de la bebida fermentada de maíz morado según tiempo de fermentación y porcentaje de suero lácteo

Se evaluó la evolución del grado alcohólico durante seis días de fermentación en las cuatro formulaciones con distintos porcentajes de suero lácteo (0%, 5%, 10% y 15%), denominadas M1, M2, M3 y M4, respectivamente. El objetivo de la investigación consistió en determinar de qué manera el periodo de fermentación y la adición de lactosuero influyen en la producción de etanol. En cumplimiento de los objetivos específicos 1 y 2, se consideró la variable grado alcohólico como indicador del progreso fermentativo en función del tiempo.

Esta variable está directamente asociada a los cambios fisicoquímicos evaluados en el objetivo 1, principalmente a la disminución del °Brix (consumo de azúcares) y a la variación del pH durante la fermentación.

Conforme avanza el proceso, las levaduras transforman los azúcares en etanol, lo que explica el incremento de los grados alcohólicos observados en los distintos días de fermentación.

Por ello, el análisis del grado alcohólico representa una respuesta integrada de los factores fisicoquímicos y del tiempo, permitiendo describir el comportamiento global de la fermentación en las diferentes formulaciones con suero lácteo.

Tabla 16: Grados alcohólicos estimados (% v/v)

Lact.	Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
0%	0.00 ± 0.00	2.28 ± 0.35	5.72 ± 0.97	8.60 ± 1.92	8.98 ± 0.69	10.45 ± 1.57	10.84 ± 2.30
5%	0.00 ± 0.00	2.99 ± 0.32	5.06 ± 1.05	7.68 ± 0.24	9.53 ± 0.39	10.45 ± 0.59	11.52 ± 1.43
10%	0.00 ± 0.00	3.40 ± 1.44	5.45 ± 1.34	7.53 ± 1.34	9.77 ± 0.91	9.98 ± 0.42	10.49 ± 2.09
15%	0.00 ± 0.00	3.25 ± 1.23	5.60 ± 0.77	7.63 ± 0.97	9.96 ± 1.31	10.74 ± 1.67	11.60 ± 1.16

M1 (0% lactosuero)

La muestra sin adición de lactosuero presentó un aumento progresivo del grado alcohólico, iniciando en 2.30% el día 1 y alcanzando 10.40% el día 5, con un ligero incremento final a 10.80% el día 6. Este comportamiento refleja una fermentación sostenida, donde la actividad de las levaduras se mantuvo activa durante todo el proceso, aunque con una velocidad moderada en comparación con las demás muestras.

M2 (5% lactosuero)

Esta formulación mostró una fermentación inicial más rápida que M1, alcanzando 3.00% el día 1 y 9.50% el día 4. El valor máximo se registró el día 6 con 11.50%, lo que indica que la adición de 5% de lactosuero favoreció la eficiencia fermentativa, prolongando la producción de etanol incluso después del quinto día.

M3 (10% lactosuero)

Fue la muestra con mejor rendimiento global. Desde el día 1 alcanzó el grado alcohólico más alto (3.40%) en comparación con todas las demás muestras, manteniendo una tendencia estable y eficiente. Llegó a 9.80% el día 4 y se mantuvo casi constante hasta el final (10.50% el día 6). Este comportamiento confirma que el 10% de lactosuero proporcionó el equilibrio óptimo de nutrientes, acelerando la fermentación desde las primeras horas y garantizando estabilidad alcohólica sin caídas significativas.

M4 (15% lactosuero)

Tuvo un comportamiento similar al de M3, alcanzando 3.20% el día 1 y 10.00% el día 4. El valor máximo se registró el día 6 con 11.60%, el más alto del estudio, aunque la diferencia frente a M2 es mínima. Esto sugiere que, si bien un 15% de lactosuero no perjudica la fermentación, el beneficio adicional respecto a concentraciones menores es reducido.

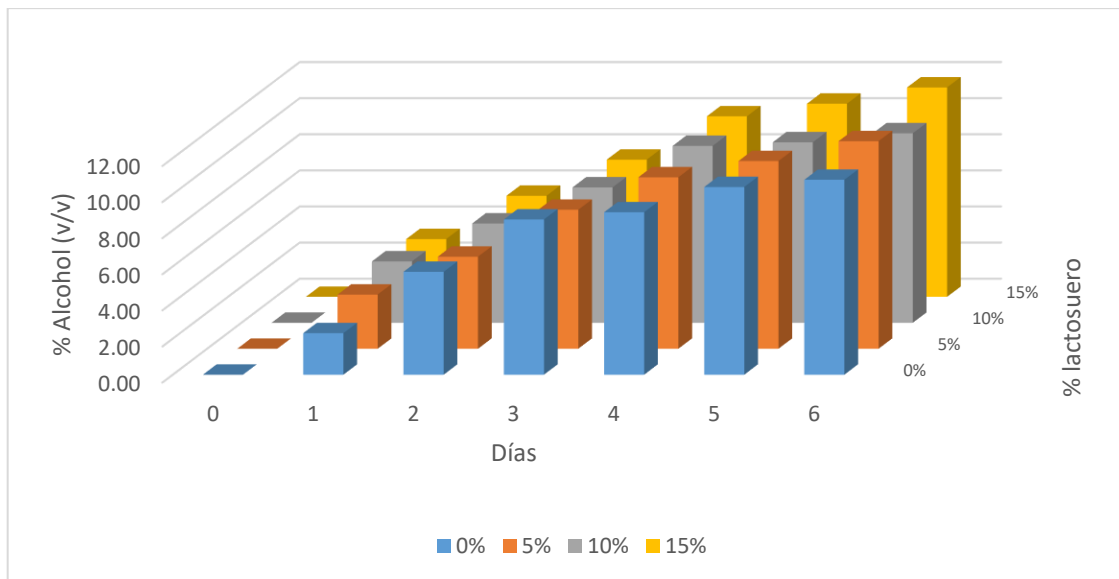


Figura 14: Grados alcohólicos (% v/v)

En todas las muestras, el aumento más pronunciado del grado alcohólico se produjo entre el día 1 y el día 4. La adición de lactosuero aceleró la fermentación, especialmente en concentraciones de 5% y 15%, que alcanzaron los valores más altos al final del proceso. No obstante, el nivel del 10% mostró la mejor combinación entre rapidez de fermentación y estabilidad del contenido alcohólico, por lo que puede proponerse como el valor más adecuado para favorecer la generación de etanol en este tipo de bebidas fermentadas.

El contenido alcohólico de la bebida a base de maíz morado presentó un incremento progresivo conforme avanzó el tiempo de fermentación, alcanzando los valores más altos en el día 6, con una media de 11.11 %. Los valores iniciales en el día 1 fueron considerablemente menores (2.98 %), mostrando un patrón ascendente durante todo el periodo evaluado. En contraste, la variación del porcentaje de lactosuero adicionado no generó cambios relevantes en el contenido alcohólico final, manteniendo medias similares entre tratamientos.

Las evaluaciones de normalidad y de igualdad de varianzas verificaron el cumplimiento de los requisitos necesarios para aplicar un análisis paramétrico. El ANOVA factorial mostró:

Tiempo de fermentación → efecto altamente significativo ($p < 0.001$).

Porcentaje de suero → no significativo ($p = 0.825$).

Interacción suero × tiempo → no significativa ($p = 0.976$).

La prueba de Tukey agrupó las medias principalmente según el tiempo: los días 5 y 6 presentaron los valores más altos, mientras que los días iniciales se asociaron a contenidos menores. Los hallazgos muestran que la duración del proceso fermentativo fue el factor que más influyó en la generación de etanol, mientras que el porcentaje de suero lácteo no generó diferencias estadísticamente significativas en el grado alcohólico final (Ver Anexo 5.7: Alcohol).

Ecuación factorial del diseño experimental

Para expresar cuantitativamente la relación entre el grado alcohólico, el porcentaje de suero lácteo y el tiempo de fermentación, se planteó el modelo factorial con interacción:

$$Y_{ij}=\beta_0+\beta_A A_i+\beta_B B_j+\beta_{AB}(A_i \cdot B_j)+\epsilon_{ij}$$

donde Y es el grado alcohólico (% v/v), A corresponde a la proporción de suero lácteo utilizada (0, 5, 10 y 15 %), mientras que B hace referencia al período de fermentación, que abarcó de 1 a 6 días. Ajustando el modelo a las medias experimentales de la Tabla 13, se derivó la siguiente ecuación de predicción:

$$Y=1.0727+0.01236A+1.8618B+0.000757(A \cdot B)$$

El modelo alcanzó un coeficiente de determinación de aproximadamente $R^2 = 0.94$, lo que refleja un ajuste adecuado respecto a los valores promedio obtenidos experimentalmente. Los parámetros estimados evidencian que la variable con mayor influencia sobre la generación de etanol es la duración de la fermentación, con un incremento cercano a +1.86 % v/v por cada día adicional. En contraste, la proporción de suero aporta un efecto positivo, pero de menor magnitud, y la interacción entre ambos factores resultó poco relevante. Estos hallazgos coinciden con lo indicado por el ANOVA, el cual mostró diferencias altamente significativas asociadas al tiempo de fermentación ($p < 0.001$), mientras que ni el porcentaje de suero ni la interacción suero×tiempo mostraron efectos estadísticamente significativos ($p > 0.05$). El modelo factorial describe adecuadamente la evolución del grado alcohólico en función de los factores evaluados y puede emplearse como ecuación de predicción dentro del rango experimental ensayado.

Los resultados obtenidos en esta sección complementan los hallazgos fisicoquímicos del objetivo 1, lo que ratifica que el incremento del contenido alcohólico se asocia directamente con la reducción de los azúcares y la estabilización del pH a medida que progresa la fermentación.

Estos hallazgos muestran que el incremento más marcado del grado alcohólico ocurrió entre el día 1 y el día 4, donde la adición de lactosuero aceleró la fermentación, destacando el 10% como concentración óptima al equilibrar velocidad y estabilidad, alcanzando un promedio final de 11.11% al sexto día.

Resultados similares reportaron Cardona et al. (2021), al señalar que el suero favorece la cinética inicial sin alterar el máximo de etanol, y Arroyo et al. (2020), quienes evidenciaron un efecto acelerador solo en las primeras fases. Asimismo, Coca y Galvis (2022) enfatizaron que el aporte del suero se refleja más en el cuerpo y la estabilidad de la bebida que en el incremento alcohólico, lo que reafirma que la duración del proceso fermentativo constituye el principal factor que controla la formación de etanol.

4.2.1 Análisis sensorial

La prueba sensorial contempló los atributos de color, sabor, olor, textura y apariencia general, empleando para su valoración una escala hedónica de 1 a 5 puntos, con la participación de 50 jueces para cada uno de los tratamientos: 0 %, 5 %, 10 % y 15 % de suero de leche. Debido a la naturaleza ordinal de los datos y al diseño con jueces como bloques, se empleó la prueba no paramétrica de Friedman, utilizando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ (Ver Anexo 5.8: análisis sensorial).

Los resultados del atributo color muestran que la mediana del atributo color fue igual a 4 para todos los tratamientos evaluados (0 %, 5 %, 10 % y 15 % de suero de leche). El test de Friedman mostró que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p = 0.968$), por lo que se mantuvo la hipótesis nula. Esto significa que la incorporación de suero de leche no tuvo un efecto significativo en la apreciación del color de la bebida fermentada.

En el atributo sabor, las medianas obtenidas para los tratamientos con 0 %, 5 %, 10 % y 15 % de suero de leche fueron de 3,94; 3,81; 4,06 y 3,94, respectivamente. El análisis mediante la prueba de Friedman reveló diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p = 0.008$), lo que llevó al rechazo de la hipótesis nula. Para determinar entre qué tratamientos se presentaban dichas diferencias, se aplicó la prueba post hoc de Nemenyi. Los resultados indicaron que el tratamiento con un 10 % de suero de leche difirió de manera significativa del tratamiento con un 5 % ($p < 0.05$). Asimismo, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos con 0 % y 15 % de suero en comparación con los demás ($p > 0.05$). En conjunto, estos hallazgos sugieren que la incorporación del 10 % de suero de

leche mejora de forma notable la valoración del sabor de la bebida fermentada alcohólica de maíz morado, especialmente frente al nivel del 5 %.

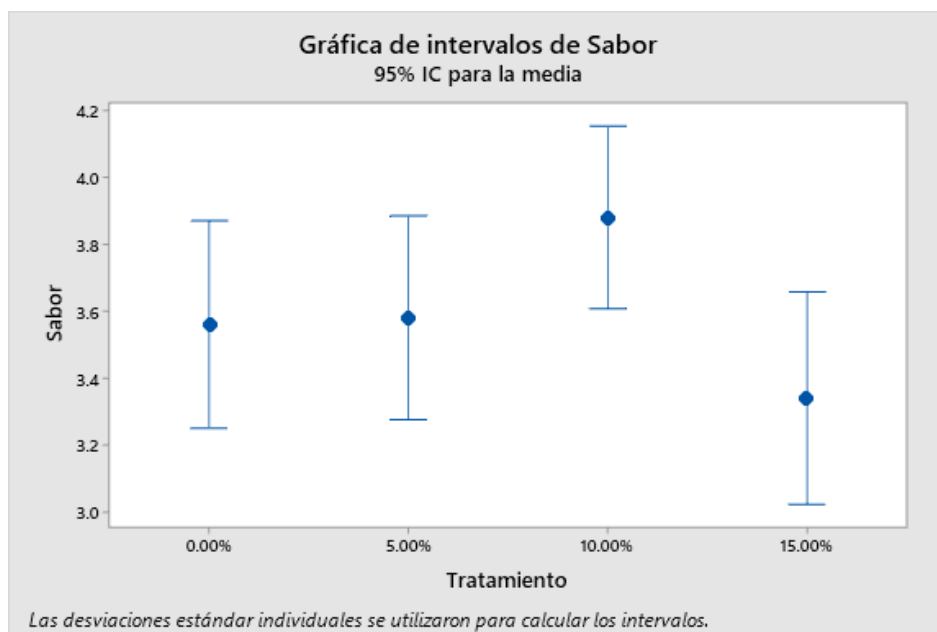


Figura 15: *Gráfica de intervalos de confianza al 95 % para la media del atributo sabor de la bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado con diferentes porcentajes de suero de leche.*

La Figura 15 muestra los intervalos de confianza al 95 % correspondientes a la media del atributo sabor de la bebida fermentada alcohólica elaborada con maíz morado, considerando los distintos niveles de incorporación de suero de leche (0 %, 5 %, 10 % y 15 %). El gráfico muestra que el tratamiento con 10 % de suero de leche presenta la media más alta de aceptación sensorial del sabor, con un intervalo de confianza completamente desplazado hacia valores superiores en comparación con los demás tratamientos. Por el contrario, el tratamiento con 15 % de suero de leche exhibe la media más baja, evidenciando una menor aceptación por parte de los jueces. Asimismo, se observa una menor superposición del intervalo de confianza del tratamiento al 10 % con respecto al tratamiento al 5 %, lo cual respalda visualmente las diferencias estadísticamente significativas identificadas mediante la prueba de Friedman y confirmadas por el análisis post hoc de Nemenyi ($p < 0,05$). Por el contrario, los intervalos de confianza asociados a los tratamientos con 0 % y 15 % de suero de leche se superponen parcialmente con los de los demás niveles, lo cual coincide con la falta de diferencias significativas entre estos tratamientos. En conjunto, la representación gráfica respalda que la incorporación del 10 % de suero de leche mejora el atributo sabor, mientras que adicionar cantidades superiores no aporta beneficios sensoriales adicionales e incluso puede reducir la aceptabilidad del producto.

En el caso del atributo olor, todos los tratamientos obtuvieron una mediana de 3,25. El análisis realizado con la prueba de Friedman indicó que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.401$), por lo que se mantuvo la hipótesis nula. Esto sugiere que la incorporación de suero de leche no modificó de forma perceptible el olor del producto.

En cuanto a la textura, la mediana fue de 4 para todos los tratamientos, con ligeras variaciones en la suma de clasificaciones. No obstante, los resultados de la prueba de Friedman no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.064$), por lo que la hipótesis nula se mantiene. Esto implica que las variaciones en el porcentaje de suero de leche no tuvieron un efecto significativo en la textura percibida por los evaluadores.

Respecto a la apariencia general, todos los tratamientos alcanzaron una mediana de 4. El análisis estadístico determinó que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos analizados ($p = 0.088$), por lo que la hipótesis nula fue mantenida. En consecuencia, la incorporación de suero de leche no produjo un impacto significativo en la apreciación visual general del producto.

En términos generales, los resultados muestran que la incorporación de distintos porcentajes de suero de leche no produjo variaciones significativas en los atributos de color, olor, textura ni en la apariencia global de la bebida fermentada alcohólica elaborada a partir de maíz morado. No obstante, el atributo sabor sí presentó diferencias estadísticamente significativas, destacando el tratamiento con 10 % de suero de leche como el mejor valorado por los jueces.

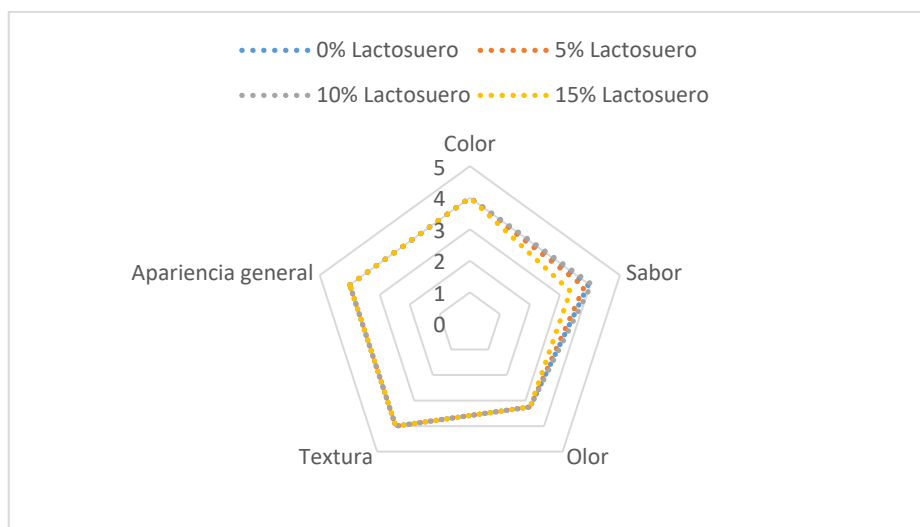


Figura 16: Gráfico de radar del perfil sensorial (color, sabor, olor, textura y apariencia general) de la bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado con diferentes porcentajes de adición de suero de leche.

El diagrama de radar evidencia que los tratamientos comparten perfiles sensoriales muy similares en los atributos de color, olor, textura y apariencia general. Este comportamiento coincide con los resultados de la prueba de Friedman, en la cual no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$). No obstante, el tratamiento con 10 % de suero de leche destaca por presentar una mayor aceptación en el atributo sabor, resultado que coincide con las diferencias estadísticamente significativas obtenidas en el análisis estadístico ($p < 0,05$) y confirmadas mediante la prueba post hoc. En contraste, el tratamiento con 15 % de suero de leche muestra una menor valoración del sabor, lo que sugiere que niveles elevados de suero no mejoran la aceptación sensorial. En conjunto, el gráfico permite identificar que el tratamiento con 10 % de suero de leche presenta el perfil sensorial más equilibrado y aceptado.

4.3 Evaluación de la vida útil de la bebida fermentada de maíz morado con y sin suero lácteo durante 42 días de almacenamiento.

La determinación de la vida útil se realizó mediante un estudio de almacenamiento **a tiempo real**, considerando como criterio principal el valor de pH crítico de 4.13 (Fellows, 1994; Ara et al., 2018; Robertson, 2012; Man & Jones, 1999). Se evaluó la bebida fermentada de maíz morado con 0% (M1) y 10% (M3) de suero lácteo, bajo dos condiciones de almacenamiento: ambiente (~ 20 °C) y refrigeración (~ 4 °C), durante 42 días. Se monitorearon pH, acidez total y grado alcohólico.

En la bebida sin adición de suero (M1), el valor de pH descendió hasta alcanzar el límite de 4.13 a los 36.42 días bajo condiciones de temperatura ambiente, lo que definió su vida útil. En la bebida con 10% de suero (M3), la vida útil se extendió hasta 38.9 días, evidenciando un efecto estabilizador del lactosuero. En condiciones de refrigeración, el pH no alcanzó el valor crítico durante los 42 días de estudio, lo que sugiere que la vida útil del producto se extiende más allá de este intervalo. A continuación, se presenta la descripción correspondiente.

4.3.1 Evolución del pH como indicador de vida útil

a. Sin lactosuero

El pH, como parámetro fundamental para evaluar la estabilidad del producto, fue monitoreado durante el periodo de almacenamiento bajo dos condiciones: ambiente y refrigeración, con el propósito de identificar cambios asociados tanto al tiempo como a la temperatura de conservación

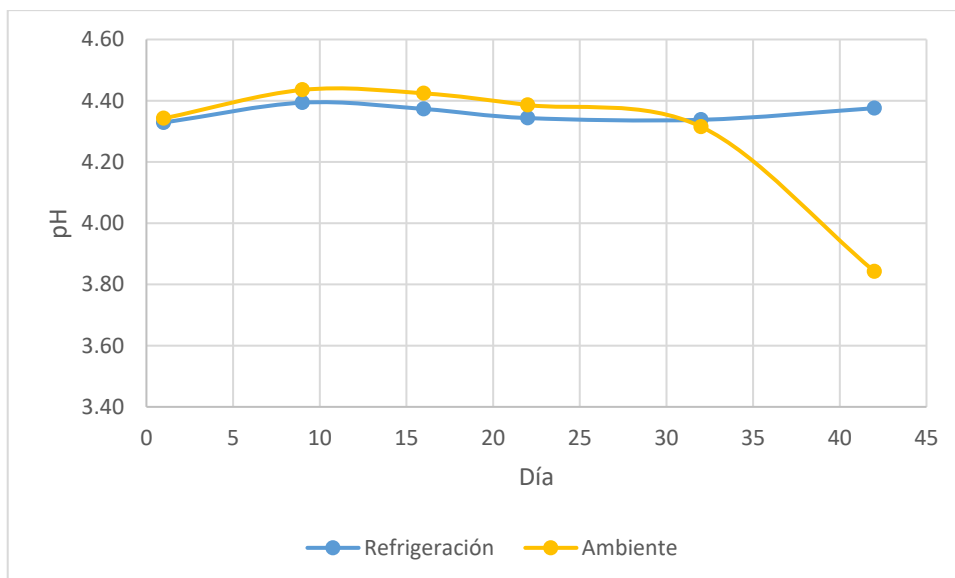


Figura 17: Evolución del pH en la chicha de jora sin lactosuero (0%)

A temperatura ambiente el pH inicial fue de 4.34 (día 1), alcanzó un leve máximo en 4.44 (día 9) y luego descendió progresivamente: 4.42 (día 16), 4.39 (día 22), 4.32 (día 32), hasta llegar a 3.84 (día 42). Esta caída final refleja un aumento en la producción de ácidos orgánicos, acelerando el deterioro sensorial y microbiológico. Mediante regresión polinómica cúbica ($y = -2E-05x^3 + 0.0005x^2 + 0.0022x + 4.3528$; $R^2 = 0.981$), se estimó que el valor crítico de pH = 4.13 se alcanzaría a los 36.42 días, lo que define la vida útil bajo esta condición.

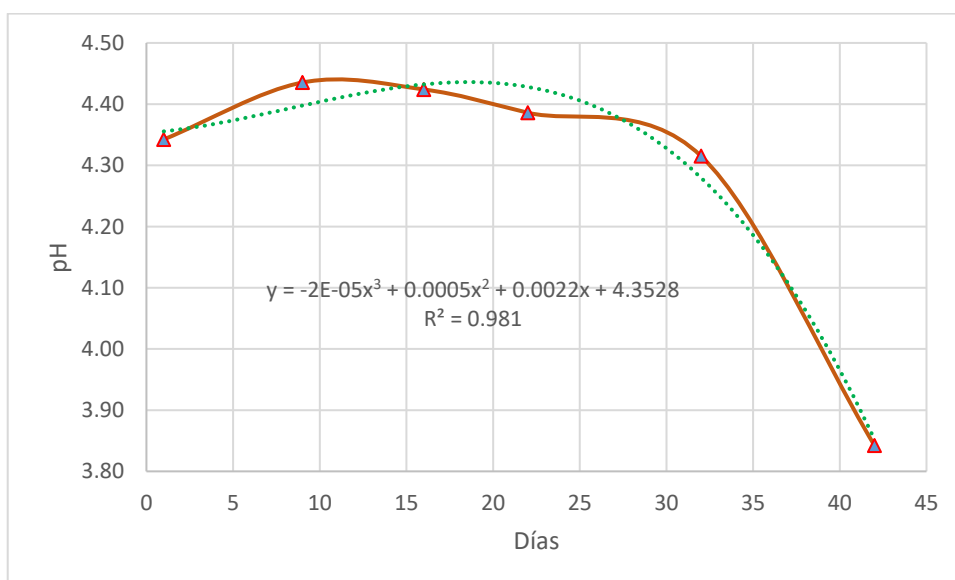


Figura 18: Ajuste polinómico del pH durante el almacenamiento a temperatura ambiente

En refrigeración, el pH se mantuvo más estable a lo largo del almacenamiento: 4.33 (día 1), 4.39 (día 9), 4.37 (día 16), 4.34 (día 22), 4.34 (día 32) y 4.38 (día 42). Esta estabilidad sugiere que el frío ralentizó la actividad metabólica de los microorganismos fermentativos, preservando las condiciones del producto por más tiempo y evitando un descenso marcado de pH durante el periodo evaluado.

El ANOVA bifactorial evidenció efectos significativos tanto de la temperatura como del tiempo ($p < 0.001$ en ambos casos), así como de su interacción. La prueba de Bartlett evidenció que las varianzas eran homogéneas ($p = 0.339$).

El test de Tukey mostró diferencias claras: el almacenamiento refrigerado mantuvo un pH superior (media = 4.359) en comparación con el almacenamiento a temperatura ambiente (media = 4.291). Asimismo, los días iniciales (1–16) presentaron pH más elevados, mientras que el día 42 mostró los valores más bajos, especialmente bajo ambiente (Ver Anexo 5.9: pH sin lactosuero).

De acuerdo con literatura (Fellows, 1994; Ara et al., 2018), un pH cercano a 4.13 representa el límite de estabilidad. En este estudio, la vida útil bajo ambiente se estimó en 36.42 días, mientras que bajo refrigeración no se alcanzó el valor crítico durante los 42 días evaluados.

Estos hallazgos coinciden con lo señalado por Ara et al. (2018), quienes destacaron que un pH final cercano a 4.13 marca el umbral de estabilidad en bebidas fermentadas. De esta manera, la refrigeración se confirma como una estrategia tecnológica eficaz para prolongar la comercialización y garantizar la calidad de bebidas tradicionales a base de maíz morado. Los hallazgos indican que la temperatura a la que se almacena el producto es un factor clave que condiciona la duración de conservación de la chicha de jora sin lactosuero. El almacenamiento a temperatura ambiente aceleró la acidificación, reduciendo el pH por debajo del límite óptimo antes de los 42 días, lo que compromete la calidad sensorial y microbiológica. En cambio, la refrigeración permitió mantener un pH estable y aceptable durante todo el período, retrasando el deterioro.

b. Con 10% de lactosuero:

Se analizó la variación del pH en la chicha de jora con un 10% de suero lácteo a lo largo de 42 días, almacenada tanto en refrigeración (~ 4 °C) como a temperatura ambiente (~ 20 °C).

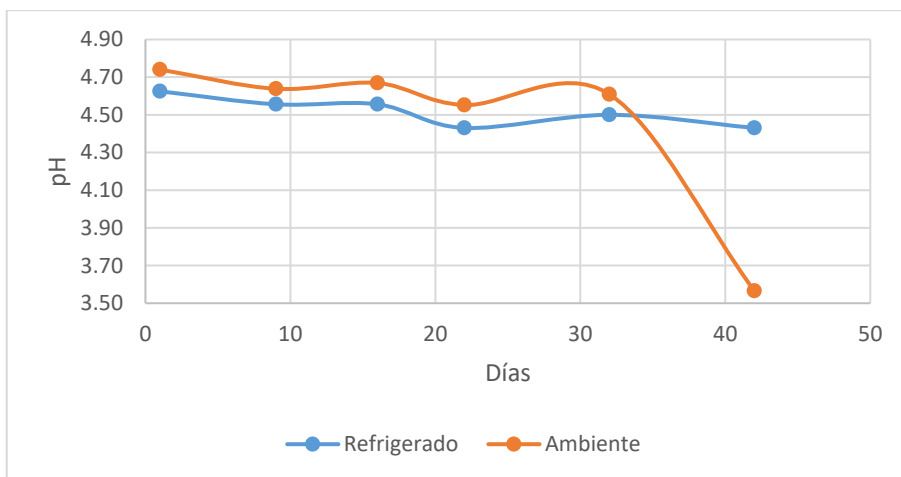


Figura 19: Chicha de jora con lactosuero

Refrigeración: El pH se mantuvo estable durante todo el período, iniciando en 4.63 (día 1) y mostrando ligeras variaciones: 4.56 (días 9 y 16), 4.43 (día 22), 4.50 (día 32) y 4.43 (día 42). Este comportamiento evidencia que la baja temperatura ralentizó la actividad microbiana y la acumulación de ácidos, preservando la calidad del producto durante más de 42 días.

Temperatura ambiente: Los valores iniciales fueron ligeramente más altos (4.74, día 1), pero se observó una disminución progresiva: 4.64 (día 9), 4.67 (día 16) y 4.55 (día 22). Posteriormente, hubo un leve incremento (4.61, día 32) antes de una caída abrupta a 3.57 (día 42), reflejando acidificación avanzada y pérdida de estabilidad.

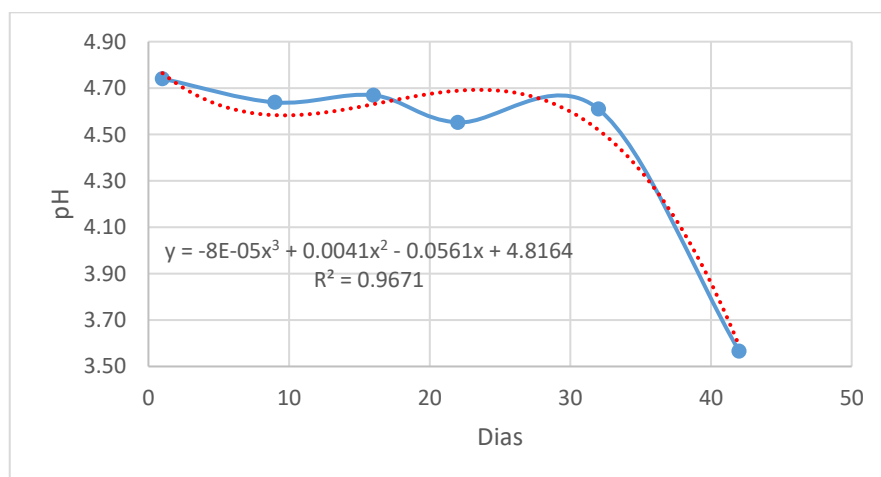


Figura 20: Regresión polinómica cúbica del pH durante el almacenamiento

El ANOVA reveló que tanto la temperatura como el tiempo de almacenamiento, así como la interacción entre ambos, presentaron efectos significativamente distintos ($p < 0.001$ en todos los casos). La regresión polinómica de tercer grado ($y = -8E-05x^3 + 0.0041x^2 - 0.0561x + 4.8164$)

$0.0561x + 4.8164$) presentó un excelente ajuste, estimando que un pH de 4.13 se alcanzaría aproximadamente a los 38.9 días en ambiente, lo que define su vida útil bajo estas condiciones (Ver Anexo 5.10: pH con 10% de lactosuero).

No obstante, al final del almacenamiento a temperatura ambiente, la acumulación de ácidos orgánicos producidos por levaduras y bacterias lácticas provocó un descenso acelerado del pH, comportamiento similar al descrito por Ara et al. (2018) en bebidas fermentadas con suero. Los resultados muestran que la adición del 10% de lactosuero ejerció un efecto moderador en la acidificación inicial, extendiendo la vida útil de la bebida hasta ~39 días frente a los ~36 días del control, efecto atribuible a la capacidad tampón de las proteínas y minerales del suero. En esta misma línea, Rather et al. (2024) reportaron que en bebidas fermentadas a base de suero el pH desciende menos bruscamente cuando existe un aporte de sólidos lácteos, mientras que Sikombe et al. (2025) destacaron que la variación de pH se intensifica en los últimos días de almacenamiento, confirmando la importancia de factores protectores. Finalmente, en condiciones de refrigeración, la disminución del pH fue mínima, lo que concuerda con lo señalado por Rani et al. (2023), quienes demostraron que la baja temperatura constituye el factor determinante para mantener la estabilidad fisicoquímica y microbiológica, permitiendo superar los 42 días de conservación.

Comparación general entre 0% y 10% de lactosuero

La comparación entre ambas formulaciones muestra que la adición de 10 % de lactosuero no modificó significativamente la vida útil del producto, aunque sí influyó en la forma de acidificación.

La regresión polinómica estimó una vida útil ligeramente mayor para la bebida con lactosuero (≈ 38.9 días frente a 36.4 días sin lactosuero), lo que podría atribuirse al efecto tampón inicial de las proteínas y minerales del suero, que atenúan parcialmente la acidificación al inicio del almacenamiento.

Sin embargo, el análisis cinético de orden 0 (Tabla 14) mostró que las constantes de velocidad (k) fueron ligeramente más altas en la bebida con lactosuero (0.02309 día^{-1}) que en la bebida sin lactosuero (0.01106 día^{-1}), lo que sugiere una acidificación algo más rápida hacia el final del almacenamiento.

Aun así, las vidas útiles estimadas por el modelo de orden 0 fueron muy similares en ambos tratamientos: 34.88 días (0 %) y 34.58 días (10 %), lo cual sugiere que las variaciones registradas no presentan significancia desde el punto de vista práctico.

“De manera integral, los dos enfoques coinciden en que la vida útil del producto conservado a temperatura ambiente se encuentra aproximadamente entre 34 y 39 días, y que la incorporación de lactosuero no influye de forma significativa en la estabilidad general de la chicha de jora, aunque sí puede generar ligeras variaciones en el patrón de disminución del pH.

Bajo condiciones de refrigeración, las variaciones entre los distintos tratamientos resultaron poco apreciables, dado que el pH permaneció prácticamente constante a lo largo de los 42 días de evaluación. Esto confirma que la temperatura de almacenamiento es el factor determinante para conservar las características fisicoquímicas y los atributos sensoriales de la bebida.

Análisis cinético de la degradación del pH y estimación de vida útil

Con el fin de complementar la estimación empírica de la vida útil obtenida mediante regresión polinómica, se emplearon modelos cinéticos de orden cero, primer y segundo orden para caracterizar la tasa de acidificación y la evolución del pH de la bebida durante su almacenamiento a temperatura ambiente.

Este enfoque asume que la variación del pH puede representarse mediante relaciones matemáticas simples en función del tiempo, de acuerdo con las siguientes expresiones lineales:

$$\text{Orden 0: } pH = pH_0 - kt$$

$$\text{Orden 1: } \ln (pH) = \ln (pH_0) - kt$$

$$\text{Orden 2: } \frac{1}{pH} = \frac{1}{pH_0} + kt$$

donde k es la constante cinética (día^{-1}) y pH_0 corresponde al intercepto de la ecuación lineal, que representa el valor estimado del pH al inicio del almacenamiento ($t=0$).

A partir de los valores de pendiente (k) y del coeficiente de determinación (R^2), se calculó el tiempo en el que el pH alcanza el valor crítico de 4.13, correspondiente al límite de vida útil del producto.

Tabla 17: *Parámetros cinéticos y estimación de vida útil (Modelos de orden 0, 1 y 2, $pH_{crit} = 4.13$)*

Tratamiento	Orden	Ecuación lineal (forma usada)	Constante k (día ⁻¹)	R ²	Vida útil (días)
0 %	Orden 0	pH = 4.5157 - 0.01106t	0.01106	0.546	34.87
0 %	Orden 1	ln(pH) = 1.5098 - 0.00268t	0.00268	0.545	34.18
0 %	Orden 2	1/ pH = 0.00065t+0.2214	0.00065	0.544	31.85
10 %	Orden 0	pH = 4.9283 - 0.02309t	0.02309	0.608	34.57
10 %	Orden 1	ln(pH) = 1.6037 - 0.00558t	0.00558	0.596	33.25
10 %	Orden 2	1/ pH = 0.00137t+0.2031	0.00137	0.584	28.46

Los modelos cinéticos de orden cero, primer orden y segundo orden presentaron valores de R² que oscilaron aproximadamente entre 0.54 y 0.61, lo que evidencia un ajuste aceptable de los modelos a los datos experimentales del pH durante el almacenamiento a temperatura ambiente.

El modelo de orden cero mostró, en general, los valores de R² más elevados, lo que sugiere que la disminución del pH ocurre a una velocidad aproximadamente constante a lo largo del tiempo. El modelo de primer orden presentó un comportamiento similar, con coeficientes de determinación cercanos a los del orden cero, lo que indica que ambos modelos describen adecuadamente la tendencia de acidificación observada.

En cambio, el modelo de segundo orden, pese a presentar valores de R² similares, estimó vidas útiles ligeramente menores, especialmente en el tratamiento con 10 % de lactosuero. Esto sugiere que, si bien el modelo de segundo orden puede ajustarse matemáticamente a los datos, tiende a subestimar el tiempo de estabilidad del pH, por lo que su interpretación debe efectuarse con precaución.

Los valores de la constante cinética k evidencian que el tratamiento con incorporación de 10 % de lactosuero presentó una velocidad de acidificación superior respecto al tratamiento sin lactosuero. No obstante, las vidas útiles calculadas a partir de los modelos de orden cero y primer orden resultaron prácticamente equivalentes en ambos tratamientos, con estimaciones cercanas a 35 días, lo que indica que la adición de lactosuero no influyó de manera significativa en la duración del producto bajo el criterio de $pH \leq 4,13$.

Estos resultados son consistentes con los obtenidos mediante la regresión polinómica, donde también se observó una disminución progresiva del pH y una vida útil promedio dentro del mismo rango temporal.

En consecuencia, si bien los tres modelos analizados permiten describir la evolución del pH, se selecciona el modelo de orden cero por considerarse el más representativo y operativo para explicar el comportamiento del pH de la bebida estudiada, estableciendo una vida útil promedio cercana a 35 días a temperatura ambiente, de acuerdo con el criterio de aceptación definido por el valor crítico de pH.

4.3.2 Evolución de la acidez titulable durante el almacenamiento

La acidez total, expresada como porcentaje de ácido láctico, fue analizada como parámetro del desarrollo fermentativo y de la estabilidad de la chicha de jora, tanto en la formulación sin incorporación de suero lácteo (0%) como en aquella con la adición del 10% de suero lácteo, a lo largo de 42 días de almacenamiento bajo condiciones de refrigeración ($\approx 4\text{ }^{\circ}\text{C}$) y a temperatura ambiente ($\approx 20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

a. Sin lactosuero

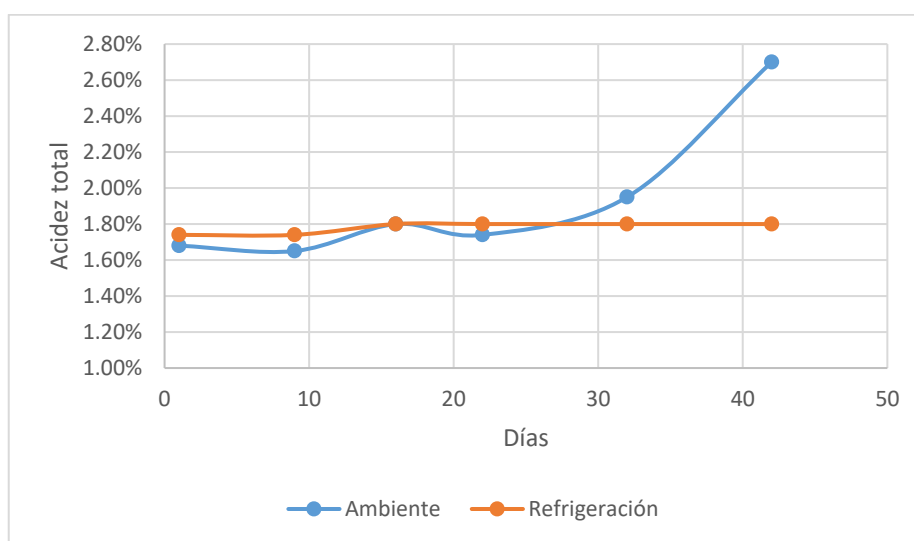


Figura 21: Variación de la acidez total en la chicha de jora sin adición de lactosuero (0%)

Refrigeración: La acidez total no presentó variaciones significativas a lo largo de todo el periodo de evaluación, con valores alrededor de 1.74–1.80 % ácido láctico, lo que refleja un bajo nivel de actividad fermentativa y una mayor estabilidad del producto.

Ambiente: Se observó un incremento progresivo hacia el final del almacenamiento, desde 1.68 % (día 1) hasta un máximo de 2.70 % (día 42), lo que evidencia una fermentación más activa y acumulación de ácidos orgánicos en condiciones ambientales. Estos resultados

muestran que la refrigeración es efectiva para mantener estable la acidez y prolongar la vida útil del producto, mientras que el almacenamiento a temperatura ambiente favorece una acidificación más marcada en las etapas finales.

La prueba de Kruskal–Wallis, considerando los 12 grupos (condición × día) y ajustada por empates, arrojó un valor de $p = 0.038$, indicando diferencias significativas entre al menos dos de las medianas evaluadas. El análisis detallado mostró que la acidez más elevada correspondió al día 42 en ambiente (2.70 %), mientras que la mayoría de los grupos en especial los almacenados en refrigeración mantuvieron valores cercanos a 1.80 %. Este hallazgo demuestra que tanto la temperatura como el tiempo de conservación actúan conjuntamente, influyendo en la variación de la acidez total de la bebida. (Ver Anexo 5.11: Acidez total con 0% de lactosuero).

Los resultados concuerdan con lo reportado por Arias Quispe y Quilapanta Ortiz (2020), quienes demostraron que el almacenamiento en frío reduce la velocidad de acidificación en bebidas fermentadas artesanales, prolongando su estabilidad y aceptabilidad sensorial. Asimismo, el incremento progresivo de acidez en condiciones ambientales coincide con lo informado por Ara Rojas et al. (2018), quienes señalan que lo atribuyen a la mayor actividad de bacterias lácticas y levaduras conforme avanza el almacenamiento.

b. Con 10% de lactosuero

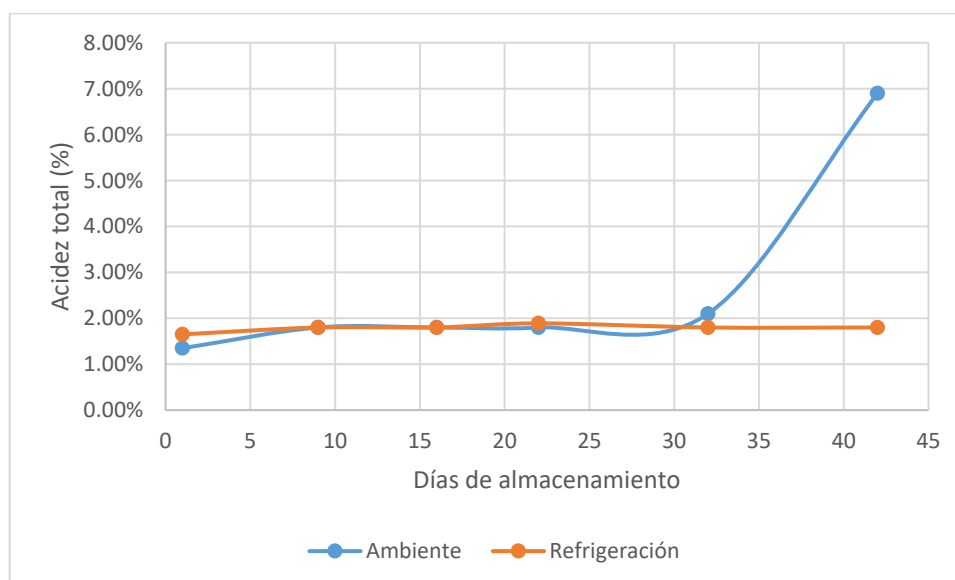


Figura 22: Evolución de la acidez total (% ácido láctico) en chicha de jora con 10% de lactosuero

Refrigeración: Los valores de acidez permanecieron casi sin cambios a lo largo de todo el período, entre 1.65 % y 1.89 % ácido láctico, lo que indica que el frío limitó la actividad microbiana y preservó la estabilidad del producto.

Ambiente: Los valores iniciales fueron levemente menores (1.35 % día 1), estabilizándose en torno a 1.80 % hasta el día 22. Sin embargo, a partir del día 32 se observó un incremento acelerado, alcanzando 2.10 % y llegando a un máximo de 6.90 % ácido láctico en el día 42, lo que refleja una intensa acumulación de ácidos orgánicos.

El análisis mediante Kruskal–Wallis, considerando los empates en los datos, reveló la presencia de diferencias significativas entre tratamientos y tiempos de almacenamiento ($H = 28.82$; $gl = 11$; $p = 0.002$). La acidez final en ambiente (6.90 % al día 42) fue estadísticamente mayor respecto a los demás grupos, mientras que en refrigeración se mantuvo estable sin diferencias relevantes en el tiempo. Estos resultados confirman que la interacción entre temperatura y tiempo de almacenamiento afecta directamente la acidez total de la bebida (Ver Anexo 5.12: Acidez total con 10% de lactosuero).

El fuerte incremento de acidez observado al final del almacenamiento en ambiente concuerda con lo reportado por Pescuma et al. (2010), quienes mencionan que el lactosuero, al aportar carbohidratos y nutrientes, estimula la actividad de bacterias lácticas, intensificando la acidificación en condiciones no controladas. Por otro lado, la estabilidad registrada en refrigeración coincide con lo señalado por Arias y Quilapanta (2020) y Gutiérrez et al. (2012), quienes destacan que las bajas temperaturas reducen la tasa de producción de ácido láctico al ralentizar el metabolismo microbiano.

En este estudio, los resultados demuestran que el almacenamiento refrigerado es la estrategia más eficaz para conservar la chicha de jora con 10% de lactosuero, evitando aumentos abruptos de acidez y extendiendo su vida útil.

Comparación general de la acidez total entre 0% y 10% de lactosuero

Al analizar cómo cambia la acidez total (% de ácido láctico) en las dos formulaciones, se aprecia que:

Sin lactosuero (0%): La acidez permaneció estable bajo refrigeración (~1.80 %), mientras que en ambiente se incrementó gradualmente, alcanzando un valor máximo de 2.70 % al día 42. Esto refleja una fermentación moderada, pero controlada en comparación con la formulación con lactosuero.

Con 10% de lactosuero: En refrigeración, la acidez también se mantuvo constante entre 1.65 % y 1.89 %, mostrando un comportamiento similar a la muestra control. No obstante, en ambiente el incremento fue mucho más marcado, alcanzando 6.90 % al día 42, lo que indica una acumulación acelerada de ácidos orgánicos debido a la mayor disponibilidad de nutrientes aportados por el lactosuero.

En conjunto, los resultados evidencian que el efecto del lactosuero en la acidez depende de la temperatura de almacenamiento: bajo refrigeración, la estabilidad fue comparable en ambos tratamientos, mientras que en ambiente la adición de 10% de lactosuero intensificó la acidificación en las etapas finales.

Esto sugiere que, aunque el lactosuero puede aportar beneficios nutricionales y funcionales, su incorporación requiere necesariamente de almacenamiento en frío para evitar incrementos excesivos de acidez que comprometan la calidad sensorial y microbiológica del producto.

4.3.3 Evolución del contenido alcohólico durante el almacenamiento

a. Sin lactosuero:

El análisis del contenido alcohólico para la bebida fermentada con 0 % de lactosuero evidenció diferencias significativas entre las combinaciones de temperatura y tiempo de almacenamiento ($p = 0.004$).

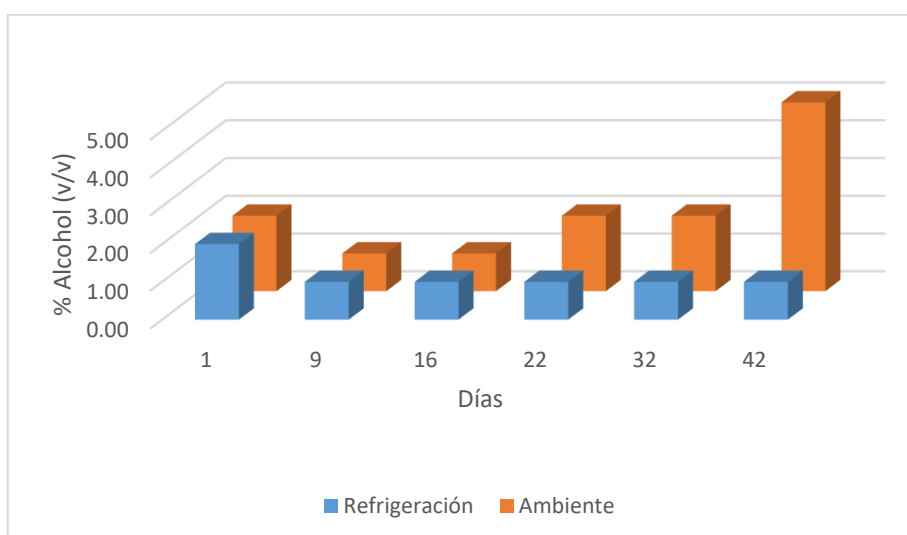


Figura 23: *Evolución del contenido alcohólico sin lactosuero*

En condiciones de temperatura ambiente, el grado alcohólico aumentó progresivamente, alcanzando 1.94 % al día 32 y un valor máximo de 4.50 % al día 42, lo que refleja fermentación residual pese al tratamiento térmico previo (80 °C, 5 min). En

refrigeración, en cambio, los valores se mantuvieron bajos y estables ($\leq 0.32\%$), con mínima variación durante todo el periodo.

Debido a que los datos no satisficieron el supuesto de distribución normal, se optó por aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, la cual evidenció un efecto estadísticamente significativo de la interacción temperatura \times tiempo sobre el contenido alcohólico. Los rangos promedio reflejaron que la temperatura ambiente favoreció un aumento sostenido de alcohol, mientras que la refrigeración limitó esta tendencia (Ver Anexo 5.13: alcohol con 0% de lactosuero).

Estos resultados coinciden con García et al. (2019) y Rodríguez et al. (2021), quienes señalan que la temperatura de almacenamiento es determinante en la evolución alcohólica post-fermentación. En este estudio, a pesar de la pasteurización ligera, el almacenamiento a temperatura ambiente permitió un incremento progresivo del etanol, posiblemente por la acción residual de microorganismos termorresistentes o enzimas sobre azúcares no fermentados. En contraste, la refrigeración evitó este fenómeno, mostrando que el control del frío es clave para mantener la estabilidad alcohólica y prolongar la vida útil.

b. Con 10% de lactosuero:

En la bebida fermentada con adición de 10 % de lactosuero, los valores iniciales de alcohol fueron más elevados, con medianas cercanas a 2 %. A lo largo del almacenamiento en temperatura ambiente, no se observó una tendencia sostenida de incremento, manteniéndose entre 0.90 % y 2.57 %. En refrigeración, los valores fueron igualmente estables, con la excepción de un aumento puntual en el día 16 (2.574 %).

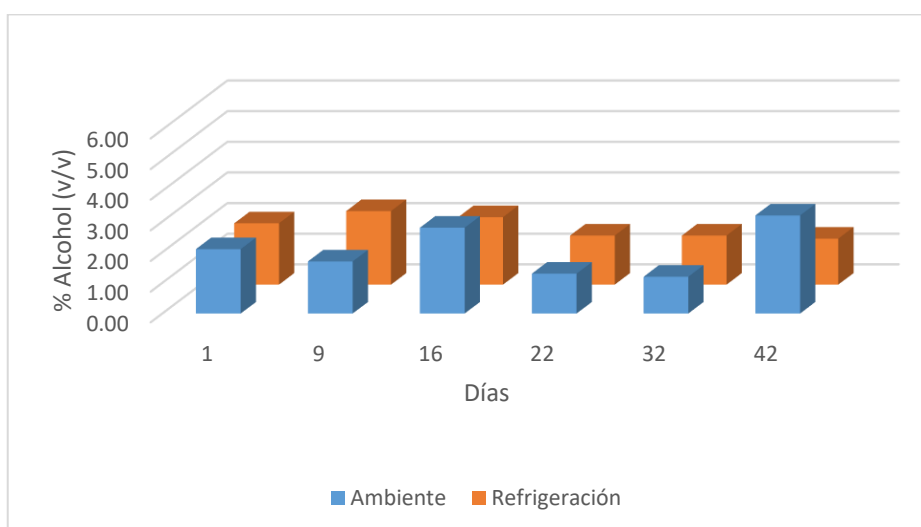


Figura 24: *Contenido alcohólico (% v/v) de la chicha de jora con adición de lactosuero*

La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis reveló diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de los tratamientos ($p = 0.024$), lo que demuestra que la interacción entre la temperatura y el tiempo de almacenamiento influyó de manera significativa en el contenido alcohólico de las bebidas. Sin embargo, estas diferencias no siguieron un patrón lineal de aumento o disminución, lo que sugiere que la variabilidad se debe a interacciones puntuales más que a un efecto progresivo sostenido (Ver Anexo 5.14: alcohol con 10% de lactosuero).

Los resultados concuerdan con García et al. (2019), quienes reportaron que, tras un tratamiento térmico, el contenido alcohólico en chicha de jora se mantiene estable durante el almacenamiento. En este estudio, la adición de lactosuero favoreció un mejor control de la producción alcohólica, evitando incrementos abruptos como en el caso del 0 %. El aumento puntual observado en refrigeración (día 16) podría deberse a fermentación residual limitada o a la hidrólisis lenta de azúcares complejos. En conjunto, el 10 % de lactosuero, combinado con refrigeración, estabilizó la concentración alcohólica, contribuyendo a una vida útil más segura y con menor riesgo de variaciones sensoriales. Esta tendencia es respaldada por estudios como el de Rather et al. (2024), quienes encontraron que bebidas con fracciones de suero presentaron una menor variación de etanol durante el almacenamiento, y Sikombe et al. (2025), que documentaron que las fluctuaciones alcohólicas son más controladas en matrices con aporte de sólidos lácteos.

Comparación entre 0 % y 10 % de lactosuero en la evolución del contenido alcohólico durante el almacenamiento

Al comparar ambas formulaciones, se observa que la chicha de jora sin lactosuero (0 %) mostró un incremento progresivo del contenido alcohólico bajo condiciones de temperatura ambiente, alcanzando 4.50 % al día 42, lo que refleja una fermentación residual más activa pese al tratamiento térmico previo. En refrigeración, en cambio, los valores se mantuvieron muy bajos (≤ 0.32 %), lo que confirma que el frío fue determinante para limitar la producción de etanol.

Por otro lado, la chicha de jora con 10 % de lactosuero presentó valores iniciales más elevados (≈ 2 %), pero su comportamiento fue más estable tanto en ambiente como en refrigeración, con un rango entre 0.90 % y 2.57 %, sin incrementos marcados a lo largo de los 42 días. El único valor atípico correspondió al día 16 en refrigeración (2.574 %), posiblemente debido a fermentación residual puntual.

En síntesis, el 0 % de lactosuero fue más susceptible a aumentos progresivos de alcohol durante el almacenamiento en ambiente, mientras que la adición de 10 % de lactosuero permitió estabilizar la concentración alcohólica, evitando variaciones significativas. Esto confirma que, para la vida útil, la combinación de suero lácteo y refrigeración constituye la estrategia más efectiva para mantener el perfil alcohólico controlado y preservar la aceptabilidad sensorial y el estado microbiológico del producto.

En ambas condiciones se observó crecimiento de levaduras, con mayor presencia en muestras a temperatura ambiente. No se detectó presencia significativa de mohos en ninguna muestra durante el periodo de evaluación, lo cual sugiere un buen control sanitario y adecuado envasado.

4.3.4 Análisis complementarios

Los resultados evidencian que el contenido inicial de antocianinas en la chicha de jora a base de maíz morado fue comparable entre los tratamientos con 0% de lactosuero (5.594 mg C3G/100 mL) y 10% de lactosuero (5.728 mg C3G/100 mL), sin apreciarse diferencias relevantes entre ambos. Sin embargo, al final de la vida útil, en ambos casos se evidenció una disminución notable en el nivel de antocianinas, alcanzando valores de 3.022 mg/100 mL C3G para la muestra sin lactosuero y 3.479 mg/100 mL C3G para la muestra con 10% de lactosuero.

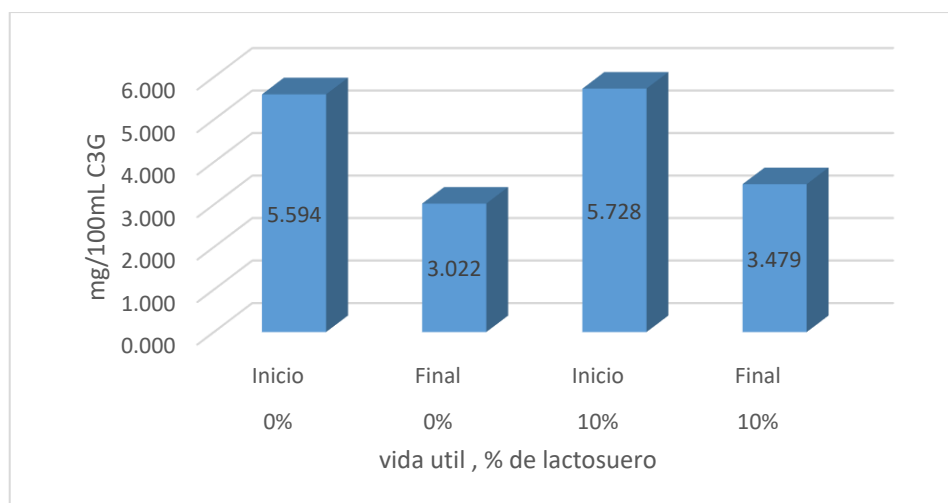


Figura 25: Contenido de antocianinas totales (mg de C3G/100 mL)

Esto indica que, si bien el tiempo de almacenamiento es el principal factor que afecta la estabilidad de los pigmentos, la adición de lactosuero parece atenuar ligeramente la

pérdida de antocianinas, sugiriendo un posible efecto protector frente a la degradación durante la vida útil.

Las pruebas de normalidad ($p > 0.100$) y de homocedasticidad ($p = 0.750$) confirmaron que los datos cumplen con los supuestos estadísticos requeridos para la aplicación del análisis de varianza (ANOVA). El ANOVA evidenció que la duración del almacenamiento influyó de manera altamente significativa en la cantidad de antocianinas ($p < 0.001$), mientras que el porcentaje de lactosuero ($p = 0.110$) y la interacción entre factores ($p = 0.354$) no fueron estadísticamente significativos. El análisis post-hoc mediante Tukey verificó que las muestras al inicio presentaron concentraciones de antocianinas significativamente mayores (media = 5.66 mg/100 mL C3G) en comparación con las del final de la vida útil (media = 3.25 mg/100 mL C3G). En cambio, no se detectaron variaciones significativas entre las formulaciones con 0% y 10% de lactosuero (Anexo 5.15: Antocianinas).

Los hallazgos evidencian que la pérdida de antocianinas en la chicha de jora de maíz morado está determinada principalmente por el tiempo de almacenamiento y no por la adición de lactosuero. Esto coincide con lo reportado por Cevallos y Cisneros (2004), quienes señalaron que las antocianinas son compuestos altamente inestables que disminuyen significativamente durante el almacenamiento debido a procesos de degradación oxidativa y reacciones de condensación. De manera similar, Patras et al. (2010) observaron que el contenido de antocianinas en jugos y bebidas se reduce notablemente a lo largo del tiempo, siendo este un factor crítico en la conservación del color y las propiedades bioactivas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

La adición de suero de leche mejoró varios parámetros fisicoquímicos de la bebida fermentada de maíz morado, especialmente el pH, los °Brix y la viscosidad, mientras que la acidez titulable dependió principalmente del tiempo de fermentación. Los tratamientos con 10% y 15% mostraron los valores más favorables en pH, sólidos solubles y consistencia, aunque el 15% presentó dulzor y viscosidad más elevados de lo ideal. En conjunto, el 10% de suero se posiciona como la concentración más equilibrada, ya que mantiene una acidez controlada, conserva un dulzor adecuado y aporta una textura estable sin excesos, convirtiéndose en la opción más recomendable para la formulación de la bebida.

Las condiciones más favorables de la bebida fermentada se alcanzaron en el segundo día de fermentación, etapa en la que los tratamientos con 10 % y 15 % de suero lácteo presentaron un equilibrio adecuado entre grado alcohólico (≈ 5.5 %), pH moderado, viscosidad estable y adecuada retención de sólidos solubles. Durante este periodo, la fermentación se desarrolló de manera activa pero controlada, lo que permitió una correcta formación de etanol sin comprometer la calidad fisicoquímica del producto. En conjunto, el tratamiento con 10 % de suero lácteo se consolidó como la alternativa más conveniente, al ofrecer una bebida con mejor balance entre acidez, dulzor y cuerpo, previo a que la fermentación avance hacia etapas de mayor degradación en los días posteriores.

La bebida fermentada con 10 % de lactosuero presentó una estabilidad fisicoquímica sostenida durante todo el periodo de almacenamiento, logrando una vida útil cercana a los 35 días a temperatura ambiente y superior a los 42 días en refrigeración (4 ± 1 °C). A pesar de ello, no se observaron diferencias significativas en el pH entre los tratamientos, la adición de lactosuero permitió una acidificación gradual y controlada, lo que contribuyó a mantener la integridad del producto y a prevenir alteraciones prematuras.

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar una concentración con un 10 % de suero lácteo incorporado en la preparación de la bebida fermentada, ya que este tratamiento mostró un equilibrio óptimo entre acidez, viscosidad, pH y sólidos solubles, sin afectar negativamente la

estabilidad del producto. Además, esta formulación permite mantener una textura y densidad adecuadas, mejorando las propiedades sensoriales sin comprometer la calidad microbiológica.

Se recomienda almacenar la bebida fermentada bajo refrigeración para prolongar su estabilidad fisicoquímica y microbiológica por más de 40 días. Esta condición reduce significativamente la actividad de levaduras y bacterias ácido-lácticas, evitando sobrefermentación, incremento excesivo de acidez y deterioro sensorial. Por el contrario, cuando la bebida se mantiene a temperatura ambiente, el periodo de conservación no debería sobrepasar los 30 días, particularmente en las formulaciones que contienen suero, a fin de evitar posibles deterioros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña Pincay, S. M., & Bernal Jijón, C. A. (2010). *Estudio de la vida útil de la bebida de cereal lacteada*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica de Litoral.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/9095?locale=es>
- AGR. (2018). *Diseño experimental completamente al azar con InfoStat - Agricultores y Agrónomos*. <https://www.youtube.com/watch?v=T41WPJ12Xvg>
- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (19th ed.). AOAC International.
https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=30451
- AOAC. (2016). *Official Methods of Analysis* (20th ed.). AOAC International.
<https://academic.oup.com/aoac-publications/book/45491/chapter/392327022>
- Ara Rojas, S., Hurtado Alendes, A., Barnett Mendoza, E., Celi Saavedra, L., & Ramos Escudero, M. (2018). Optimización de parámetros del proceso de elaboración de chicha de jora. *Universidad de San Martín de Porres*, 11–28.
<https://doi.org/10.24265/campus.2018.v23n25.01>
- Aráuz Solis, M. S. (2020). *Fermentación de lactosuero para la obtención de etanol y su uso en cervezas y bebidas saborizadas: Revisión de literatura*. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/dac4a18a-1b49-41ed-b8d3-bdf98ec7e58f/content>
- Arias Quispe, A. M., & Quilapanta Ortiz, A. C. (2020). *Estudio de almacenamiento para determinar la vida útil de tres bebidas ancestrales fermentadas de bajo contenido alcohólico*. Cotopaxi: Universidad Técnica de Cotopaxi.
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6691>
- Arroyo Villa, F., Fernández, P., & Díaz, L. (2020). Efecto del lactosuero en la fermentación alcohólica de bebidas vegetales. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 11(3), 56–64.
- Arroyo Villa, M., Coox Murillo, J., & Montesdeoca Párraga, R. (2020). Efecto de la dosis de lactasa y levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en la fermentación alcohólica de lactosuero. *Revista de Ciencias Agropecuarias "ALLPA"*, 22–34.
<https://publicacionescd.uleam.edu.ec/index.php/allpa/article/view/2/27>
- Aydogdu, T., O'Mahony, J. A., & McCarthy, N. A. (2023). *pH, the Fundamentals for Milk and Dairy Processing: A Review*. *Dairy*, 4(3), 395-409.
<https://doi.org/10.3390/dairy4030026>
- Barnes, H. A., Hutton, J. F., & Walters, K. (1989). *An introduction to rheology*. Elsevier.
https://books.google.co.uk/books?id=B1e0uxFg4oYC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

- Bartolo, A., Díaz, M., & Campos, L. (2013). Determinación del grado alcohólico y parámetros fisicoquímicos en fermentaciones artesanales. *Revista Ciencia y Tecnología*, 15(2), 33–39.
- Bartolo, L., Cabellos, J., Gavidia, A., & Hoyos, C. (2013). Efecto del vacío en la absorbancia y el grado alcohólico en dos tipos de chicha de jora. *Agroindustrial Science*, 117–124.
- Bid Adex. (2013). *Ficha de requisitos técnicos de acceso al mercado de EE. UU.* <https://hdl.handle.net/20.500.14152/1511>
- Bustamante Vásquez, A. (2019). *Influencia de la temperatura de fermentación en las características fisicoquímicas de la chicha de jora, evaluados en dos variedades de germinados de maíz (Zea mays L.), INIA 603 y Marginal 28.* Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Campos, R., & López, M. (2018). Determinación de parámetros reológicos en bebidas fermentadas. *Revista Colombiana de Tecnología Alimentaria*, 9(1), 45–53.
- Capdevila, V., Vales, M., Gely, C., & Pagano, A. (2020). Análisis de la etapa de hidrólisis de la lactosa del suero lácteo para la obtención de bioetanol. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 1–17. <http://www.executivebs.org/publishing.cl/aci/2020/Vol11/Nro4/1-ACI1367-20-full.pdf>
- Cardona Soberao, M., Gómez, C., & Sánchez, J. (2021). Aprovechamiento del lactosuero en bebidas fermentadas funcionales. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 41(1), 23–31.
- Cardona Soberao, Y. R., Cruz Carbonell, M. E., González Sanbrano, J. M., & Paneque Díaz, Y. (2021). Caracterización de la fermentación alcohólica del lactosuero a escala de laboratorio. *Revista Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN*, 75–91. <https://editorialibkn.com/index.php/Yachasan/article/view/165>
- Champi Checya, F., & Taype Ccahua, N. (2018). Efecto de tiempo de cocción y fermentación sobre la calidad de la bebida fermentada a base de maíz morado (*Zea mays*) germinado de variedad Kculli. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*.
- Chuquizuta, J., Ramos, M., & Quispe, D. (2021). Propiedades antioxidantes del maíz morado y su aplicación en alimentos funcionales. *Agroindustrial Science*, 11(2), 121–132. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2021.02>
- Coca Valenzuela, E. S., & Galvis Rubio, E. (2022). *Aprovechamiento del lactosuero para el desarrollo de bebida isotónica saborizada.* Facultad de Ingeniería, Universidad EAN. <http://hdl.handle.net/10882/12604>
- Coca Valenzuela, P., & Galvis Rubio, M. (2022). Efecto del suero lácteo en la calidad sensorial de bebidas fermentadas artesanales. *Revista de Alimentos y Nutrición*, 13(1), 33–41.

- Cobo, E., & León, P. (2019). Determinación de densidad y propiedades físicas en líquidos alimentarios. *Revista Agroindustrial Andina*, 12(2), 63–70.
- Cortés, F. (2021). Evaluación de la estabilidad físico-química en bebidas tradicionales fermentadas. *Revista Agroindustrial Andina*, 12(1), 45–52.
- Cruz, D., Arévalo, L., & Vázquez, N. (2019). Efecto de la temperatura de almacenamiento en la calidad de bebidas fermentadas artesanales. *Revista Latinoamericana de Alimentos*, 8(2), 77–86.
- FAO. (2019). *Guía para la evaluación de la vida útil de productos alimentarios fermentados tradicionales*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/4/ca5568es/ca5568es.pdf>
- Fisher, C., & Hart, R. (1971). *Principles of Food Analysis: Methods and Applications*. McGraw-Hill.
- Fox, P. F., Uniacke-Lowe, T., McSweeney, P. L. H., & O'Mahony, J. A. (2017). *Dairy chemistry and biochemistry* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14892-2>
- Frau Ardon, M. (2021). *De lo sagrado a lo profano: La chicha de jora*. *Dialnet*, 51–61. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8125337>
- García, M., & López, J. (2019). Parámetros determinantes de la vida útil en bebidas alcohólicas y fermentadas. *Revista Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 11(3), 121–130.
- Gómez, A., & Vargas, L. (2017). Evaluación instrumental del color en alimentos pigmentados. *Revista de Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 15(3), 89–96.
- Gobierno Regional de Puno. (2025). *Diagnóstico situacional de la cadena productiva de la leche en la región Puno*. Dirección Regional de Agricultura del Gobierno Regional de Puno. https://www.regionpuno.gob.pe/wp-content/uploads/2025/10/INFORME-FINAL-II-AUDIENCIA-PUBLICA-RENDICION-CUENTAS-PARTE-2-opt_compressed.pdf?utm
- Gutiérrez, P., & Carpio, L. (2018). Modelos predictivos de deterioro y vida útil de alimentos fermentados. *Revista de Ciencia Alimentaria*, 6(2), 88–96.
- Herrera, J., León, L., Torres, Y., Cano, N., Herrera, A., & Cuenca, M. (2019). Evaluación y selección de levadura comercial para el proceso de fermentación alcohólica de hidromiel. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia*. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/129/1292407001/1292407001.pdf>
- Herrera, P., Salinas, R., & Montoya, G. (2019). Procesos fermentativos y producción de etanol en matrices vegetales. *Revista de Ciencias Agroindustriales*, 7(1), 19–28.

- Huamán, J., Ríos, A., & Cabrera, M. (2019). Evaluación del pH y sólidos solubles en chicha de jora durante la fermentación. *Revista de Investigación Agropecuaria y Ambiental*, 5(1), 12–18.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2021). *Producción agropecuaria nacional y regional 2020–2021*. INEI. <https://www.gob.pe/inei>
- Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., & Stahl, D. A. (2021). *Brock biology of microorganisms* (16th ed.). Pearson. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/brock-biology-of-microorganisms/P200000006867/9780135860717>
- Man, C. M. D., & Jones, A. A. (1999). *Shelf life evaluation of foods*. Springer.
- Maldonado, R., Carrillo, P., & Ramírez, L. (2018). Elaboración de una bebida fermentada a base de quinoa (*Chenopodium quinoa*). *SciELO*, 14. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n3.329>
- Martínez, E., Soto, R., & Cárdenas, P. (2020). Influencia de la temperatura en la vida útil de productos alimentarios fermentados. *Revista Colombiana de Tecnología Alimentaria*, 9(2), 56–64.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2021). *Caracterización de la producción lechera y generación de lactosuero en la región Puno*. MIDAGRI.
- Ministerio de Salud. (2002). *Tabla peruana de composición de alimentos*. Instituto Nacional de Salud, Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. <https://hdl.handle.net/20.500.14196/222>
- Ministerio de Salud. (2017). *Reglamento sanitario de bebidas fermentadas*. Lima, Perú. https://docs.bvsalud.org/leisref/2018/03/218/alcohol-ds007_98_sa.pdf?utm
- Montilla, R., Salazar, J., & Ávila, M. (2020). Influencia del pH y los sólidos solubles en la fermentación de mostos de cereales. *Revista Ingeniería*, 26(2), 95–104.
- Odepa. (2019). *Estudio de economía circular en el sector agroalimentario chileno*. Ministerio de Agricultura, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/handle/20.500.12650/69745?utm>
- Paredes Bucheli, A. P. (2021). *Propuesta para elaborar un prototipo de bebida alcohólica utilizando suero de leche como materia prima*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Parra, H. R. (2009). Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(1), 4967–4982. <https://www.redalyc.org/pdf/1799/179915377021.pdf?utm>
- Pinedo, S., Vargas, M., & Huamán, R. (2020). Estudio de compuestos bioactivos en maíz morado y su potencial uso industrial. *Revista Peruana de Investigación Agroindustrial*, 3(1), 65–74. <https://doi.org/10.17268/rpia.2020.01>

- Porras Atencia, O. O. (2018). *Manual de análisis químico e instrumental – Fundamentos de alimentos*. Barrancabermeja: Instituto Universitario de la Paz – UNIPAZ. <https://unipaz.edu.co/omp/index.php/editorial/catalog/book/51?utm>
- Poveda, E. (2013). Suero lácteo: generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad. *Revista Chilena de Nutrición*. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182013000400011
- Prado, E. A. (2004). *Elaboración de bebida fermentada a partir de lactosuero*. Tesis doctoral.
- Rabanal Atalaya, M., & Medina Hoyos, A. (2021). Análisis de antocianinas en el maíz morado (*Zea mays L.*) del Perú y sus propiedades antioxidantes. *Terra Latinoamericana*, 1–12. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.808>
- Ramos, C., Vilca, D., & Pari, J. (2020). Parámetros de fermentación y grado alcohólico en chicha artesanal de maíz morado. *Revista Ciencia y Tecnología Agroindustrial*, 12(1), 88–94.
- Rani, R., Kumari, A., & Singh, R. (2023). Influence of storage conditions on quality attributes of whey-cereal fermented beverages. *Fermentation*, 9(12), 1120. <https://doi.org/10.3390/fermentation9121120>
- Rather, I. A., Wani, S. M., Hassan, W., & Shah, M. A. (2024). Effect of storage on physicochemical and microbiological properties of whey-based beverages. *Foods*, 13(2), 331.
- Robertson, G. L. (2012). *Food packaging: Principles and practice* (3rd ed.). CRC Press. <https://www.routledge.com/Food-Packaging-Principles-and-Practice-Third-Edition/Robertson/p/book/9781439862414>
- Romero, J. (2005). *Química básica aplicada a los alimentos*. Editorial Agroindustrial Latinoamericana.
- Rondón del Carpio, K. C. (2014). *Elaboración de un concentrado proteico y una bebida nutracéutica a base de suero de leche y maíz morado*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4201>
- Sikombe, T., Mwangwela, A., & Kaonga, C. C. (2025). Changes in physicochemical properties of fermented dairy beverages during storage. *Journal of Food Composition and Analysis*, 126, 106338.
- Sociedad Chilena de Nutrición, B. (2013). Suero lácteo: generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad. *Revista Chilena de Nutrición*, 40, 397. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182013000400011>

- Steffe, J. F. (1996). *Rheological methods in food process engineering* (2nd ed.). Freeman Press. https://openlibrary.org/books/OL1021570M/Rheological_methods_in_food_process_engineering
- Torres, E., & Morales, J. (2018). Control de variables fisicoquímicas en fermentaciones alcohólicas. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 40(2), 18–27.
- Torres, L., & Delgado, C. (2020). Efecto del envase en la estabilidad de bebidas fermentadas de maíz morado. *Revista Agroindustrial Peruana*, 15(1), 23–33.
- Valdivia, S., Campos, D., & Rojas, E. (2018). Hidrólisis enzimática del almidón durante la germinación del maíz para chicha de jora. *Revista de Tecnología Alimentaria*, 9(4), 77–83.
- Velázquez, A., Covatzin, D., Toledo, M. D., & Vela, G. (2018). Bebida fermentada elaborada con bacterias ácido lácticas aisladas del pozol tradicional chiapaneco. *Scielo*, 14.
- Walstra, P., Wouters, J. T. M., & Geurts, T. J. (2006). *Dairy science and technology* (2nd ed.). CRC Press. <http://repository.ottimmo.ac.id/id/eprint/38>
- Lin, Y., Zhang, W., Li, C., Sakakibara, K., Tanaka, S., & Kong, H. (2012). *Factors affecting ethanol fermentation using Saccharomyces cerevisiae BY4742*. *Biomass and Bioenergy*, 47, 395–401. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.09.019>
- Zevallos, P., & Quispe, N. (2020). La chicha de jora como patrimonio cultural y producto agroindustrial en el Perú. *Revista de Ciencias Sociales y Cultura Andina*, 5(1), 41–49.

Anexo A

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL				
¿Cómo influye la adición de suero de leche dulce en las características fisicoquímicas y vida útil de la bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado?	Evaluar el efecto de la adición de suero de leche sobre sus características fisicoquímicas y vida útil de la bebida fermentada alcohólica a base maíz morado.	La adición de suero de leche tendrá un efecto significativo en las características fisicoquímicas de la bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado, y, además, su incorporación permitirá mantener una vida útil constante durante el período de estudio				
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICA	Variable independiente:			
a) ¿Cómo influye la adición de suero de leche en sus características fisicoquímicas de la bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado?	a) Determinar la influencia de adición de suero de leche (proveniente de la elaboración de quesos) en las características fisicoquímicas de la bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado	a) La adición de suero de leche tiene una influencia significativa en las características fisicoquímicas de la bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado.	Porcentaje de reconstitución del suero lácteo:	0% 5% 10% 15%	Adición de mezclas	Cantidad en porcentaje (%)
			Variable dependiente: características fisicoquímicas	pH Acidez °Brix Viscosidad Color	Implica la caracterización del alimento desde el punto de vista fisicoquímico, haciendo énfasis en la determinación de su composición química, es decir, cuales sustancias están presentes en un alimento.	0 – 14 0 – 90 Ph °D °Bx
b) ¿Cómo influye la adición de suero de leche y el tiempo de fermentación alcohólica en elaboración de una bebida a base de maíz morado?	b) Analizar la influencia del tiempo de fermentación y adición de suero lácteo en la producción alcohólica de la bebida a base de maíz morado.	b) El tiempo de fermentación y la adición de suero lácteo tendrán un impacto significativo en la producción alcohólica de la bebida a base de maíz morado, a medida que aumenta el tiempo de fermentación, la concentración de alcohol en la bebida también aumenta. Además, la presencia de suero de leche proporcionará nutrientes adicionales para las levaduras, lo que favorecerá una mayor producción de alcohol durante la fermentación.	Variable independiente:			
			Porcentaje de reconstitución del suero lácteo:	0% 5% 10% 15%	Adición de mezclas	Cantidad en porcentaje (%)
			Variable dependiente: Grado alcohólico	Densidad °Brix °GL	Es el número de unidades de volumen de alcohol contenidos en 100 unidades de volumen del producto.	0 – 90 1 - 100 °Bx °GL

<p>c) ¿Cómo influye la temperatura y tiempo de almacenamiento en la vida útil de la bebida fermentada alcohólica a base de maíz morado?</p>	<p>c) Evaluar la vida útil de una bebida fermentada alcohólica a partir de suero de leche y maíz morado.</p>	<p>c) A los 21 días de almacenamiento, la bebida fermentada alcohólica elaborada a partir de suero de leche y maíz morado mantendrá una vida útil constante, sin presentar cambios significativos en los valores de pH y acidez.</p>	<p>Variable independiente: Temperatura de almacenamiento Tipo de bebida</p>	<p>Temperatura ambiente, refrigerado</p>	<p>Condiciones de almacenamiento</p>	<p>°C a,b</p>
			<p>Variable dependiente: Vida útil pH Acidez °GL</p>	<p>La vida útil de un alimento se define como el tiempo finito después de su producción en condiciones controladas de almacenamiento, en las que tendrá una pérdida de sus propiedades fisicoquímicas.</p>	<p>0 – 14 1 - 100</p>	<p>pH °D °GL</p>

Anexo B

Metodología de los análisis fisicoquímicos

2- A DETERMINACIÓN DE ACIDEZ TOTAL TITULABLE: ACIDEZ TOTAL POR VOLUMETRÍA

Principio El método se basa en determinar el volumen de NaOH estándar necesario para neutralizar el ácido contenido en la alícuota que se titula, determinando el punto final por medio del cambio de color que se produce por la presencia del indicador ácido – base empleado.

Reactivos

- Hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N
- Fenolftaleína al 1% en alcohol al 95%

Procedimiento:

- Pipetear 10ml de jugo de fruta o vino (5 ml caso de jugos de limón o 1 ml de vinagre) a un Erlenmeyer que contenga 100-200 ml de agua hirviendo (500 ml o más si la muestra es coloreada).
- Continuar calentando por 30-60 segundos.
- Dejar enfriar un poco y titular con NaOH 0,1 N usando 0,5 ml o más si la cantidad de agua es mayor) de fenolftaleína al 0,5% hasta coloración rosada.
- Repetir el proceso para una segunda determinación.

Calculo: Calcular el porcentaje de acidez como ácido cítrico, málico, tartárico o acético.

2-B DETERMINACIÓN DE pH

MÉTODO DE POTENCIÓMETRO DESCRITO POR GUERRERO (1998)

Se utiliza un potenciómetro digital, que consta de un electrodo de vidrio, que debe mantenerse sumergido en una solución amortiguadora; los tampones para calibrar, son disolución tampón de pH 4,0 y pH 7,0 la medición del pH de alimentos líquidos se realiza de forma directa. Se introduce el electrodo perfectamente calibrado en la muestra, se procede a la lectura directa, y luego se enjuaga con agua deionizada, para ser utilizado en la siguiente muestra.



2-C DETERMINACIÓN DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST) POR MEDIO DEL REFRACTÓMETRO

Los sólidos solubles están compuestos por los azúcares, ácidos, sales y además compuestos solubles en agua presentes en los alimentos. A continuación, se describe el método para determinar el contenido total de sólidos solubles (SST).

Un refractómetro mide los SST como porcentaje de grados Brix en incrementos de 0,1%. Existen refractómetros manuales y digitales operados con baterías o corriente eléctrica. Todos los modelos aplican principios similares; sin embargo, deben seguirse siempre las instrucciones del fabricante.

Algunos refractómetros compensan de manera automática los cambios en temperatura, mientras que otros pueden calibrarse para leer con precisión a temperaturas fijas (normalmente 20°C). Para obtener lecturas precisas a temperaturas distintas de los 20°C, se debe consultar la tabla internacional de compensación de temperatura (1974) que normalmente se proporciona con el instrumento o la norma ISO 2173 – (primera edición 15 de noviembre de 1978).

Los refractómetros normalmente no tienen necesidad de ser recalibrados; sin embargo, las instrucciones de calibración que se presentan a continuación pueden ser útiles. Si existen dudas acerca de la precisión de alguna lectura, es importante consultar las instrucciones del fabricante.

Verificación del refractómetro:

Material necesario:

- Una botella de agua destilada.
- Un frasco pequeño de solución de sacarosa al 6%. Este material debe almacenarse en un frasco, lejos de la luz solar, y utilizarse dentro de las 48 horas siguientes a su preparación.

2-F. DETERMINACIÓN DEL GRADO ALCOHÓLICO

Se llama grado alcohólico a la proporción de alcohol etílico presente en la bebida, en otras palabras, es la concentración de alcohol, y se suele expresar de muchas maneras, pero la más usual de expresarlo es en porcentaje en volumen: ml de etanol por 100 ml de licor, que toma el nombre de grado Gay Lussac "GL".

❖ *Método de Alcohómetro*

El alcohómetro es un densímetro (ampolla de vidrio con lastre, un termómetro en su interior y terminado en un vástago graduado), graduado en grados Gay Lussac °GL y sirve para determinar grado alcohólico por flotación.

El alcohómetro, o alcoholímetro solo se usa cuando se quiere hacer determinación rápida in situ, no es válido como método científico.

Tomar la muestra problema y llenar una probeta de 250 ml hasta $\frac{3}{4}$ partes de su volumen, tomar el alcohómetro por el vástago y colocarlo suavemente en la probeta, darle un ligero movimiento de rotación y esperar que se estabilice; luego tomar el grado alcohólico en la escala del vástago en el punto que señala el nivel del líquido (el ras) y tomar la temperatura en el termómetro incrustado.

Si la temperatura es muy diferente a 15,6°C, será necesario hacer la corrección del grado alcohólico de acuerdo a las instrucciones que viene incluidas en el interior del alcohómetro (restar o sumar un número por cada grado en exceso o deficiencia con respecto a 15,6°C).

Este método es muy conocido y se lo usa para el control de calidad de los licores principalmente por controladores municipales.

Anexo C

Panel fotográfico del proceso experimental

Figura C.1: La figura muestra la preparación de la chicha de jora a base de maíz morado, incluyendo las etapas de cocción, enfriamiento y acondicionamiento del mosto previo al proceso fermentativo.



Figura C.2: Registro de pH de chicha de jora: la figura muestra la variación del pH de la chicha de jora durante la fermentación, evidenciándose una disminución progresiva conforme avanza el tiempo.

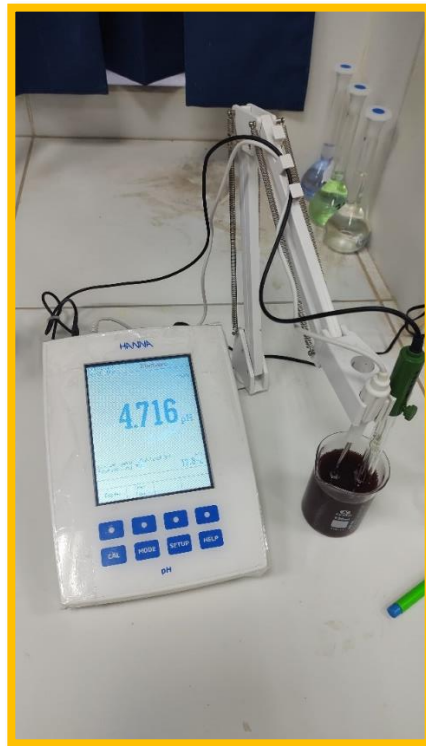


Figura C.3: La figura muestra el proceso de medición del pH de la chicha de jora, realizado directamente durante la etapa de fermentación. En la imagen se observa al investigador efectuando el control del pH mediante un potenciómetro, garantizando la precisión del registro.



Figura C.4: La figura muestra el registro de °Brix de la chicha de jora durante la fermentación, evidenciándose una disminución progresiva asociada al consumo de azúcares por los microorganismos fermentativos.



Figura C.5: La figura muestra el registro de la acidez por titulación de la chicha de jora, evidenciando el incremento de ácidos orgánicos conforme avanza el proceso de fermentación alcohólica.



Figura C.6: La figura muestra el registro del peso mediante el método de picnometría, realizado para la determinación de la densidad de la chicha de jora durante el proceso fermentativo. En la imagen se observa el uso del picnómetro y balanza analítica, garantizando precisión en la medición y confiabilidad de los resultados obtenidos.

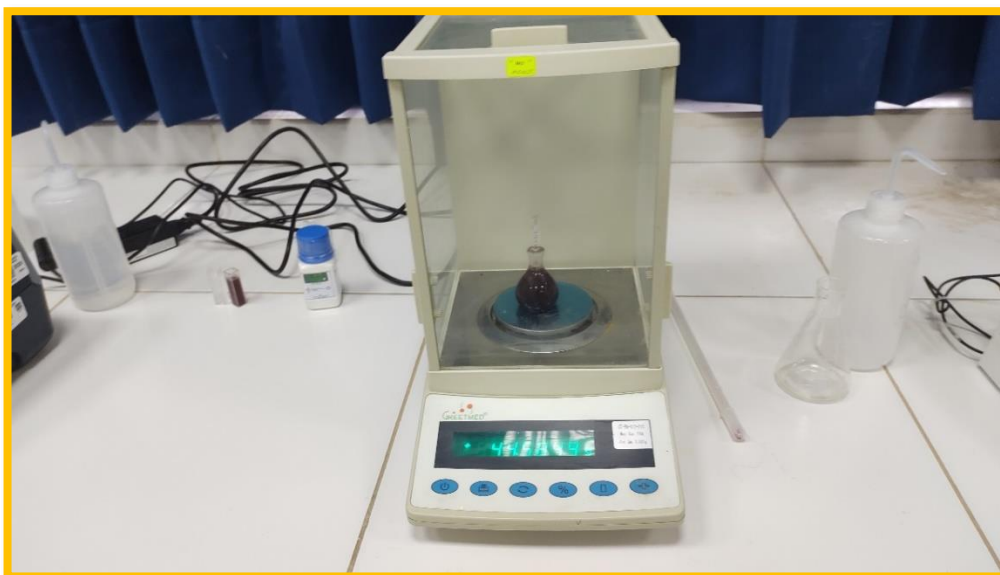


Figura C.7: La figura muestra el registro del color de la chicha de jora mediante el espectrofotómetro LICO 620, utilizado para determinar los parámetros colorimétricos de la muestra. En la imagen se observa el equipo durante la lectura, asegurando precisión y reproducibilidad en el análisis del color.



Figura C.8: La figura muestra las muestras de chicha de jora acondicionadas para el análisis en espectrofotómetro, debidamente rotuladas y homogenizadas. La correcta preparación de las muestras garantiza lecturas confiables y comparables de los parámetros colorimétricos.

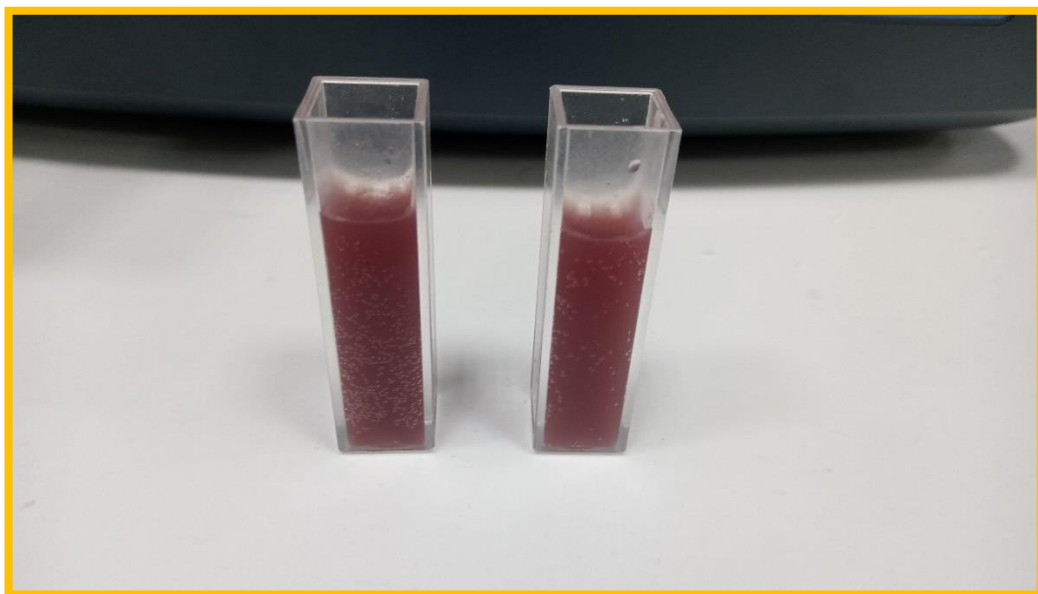


Figura C.9: La figura muestra el registro de la viscosidad de la chicha de jora, realizado durante el proceso fermentativo para evaluar los cambios en la consistencia del producto. En la imagen se observa el equipo de medición en operación, asegurando la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos.



Figura C.10: La figura muestra la calibración del potenciómetro, realizada previo a la medición del pH de la chicha de jora. En la imagen se observa el uso de soluciones buffer patrón, garantizando la exactitud y confiabilidad de los valores registrados.



Figura C.11: La figura muestra la calibración del potenciómetro utilizando solución buffer pH 7.01, realizada antes del análisis de la chicha de jora. Este procedimiento asegura la precisión y confiabilidad de las mediciones de pH obtenidas.

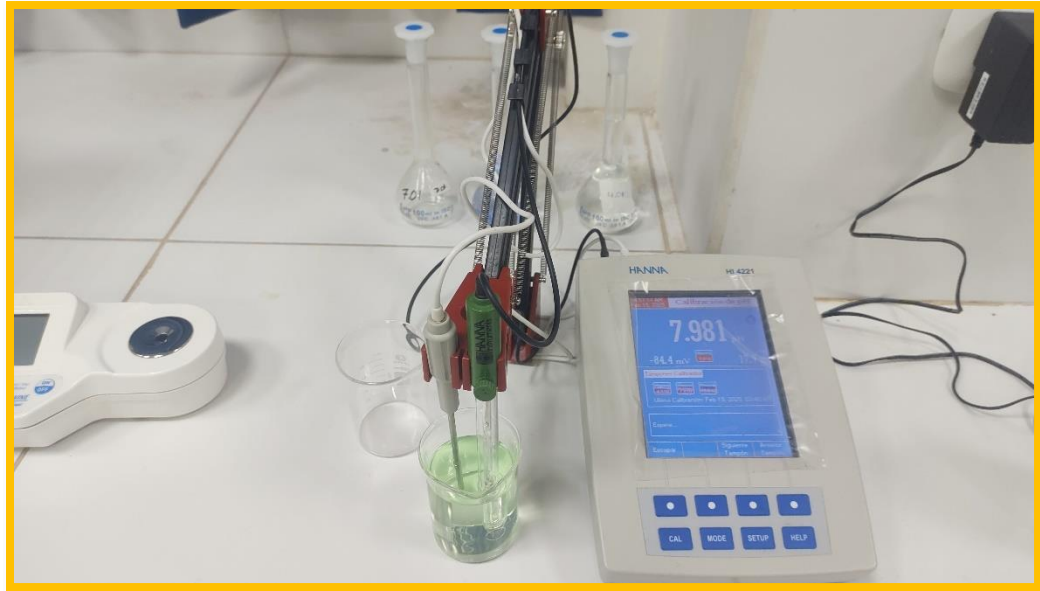


Figura C.12: La figura muestra el reactivo hidróxido de sodio (NaOH) empleado en la determinación de la acidez por titulación de la chicha de jora. El uso de este reactivo permite cuantificar los ácidos presentes y asegurar la confiabilidad del análisis.

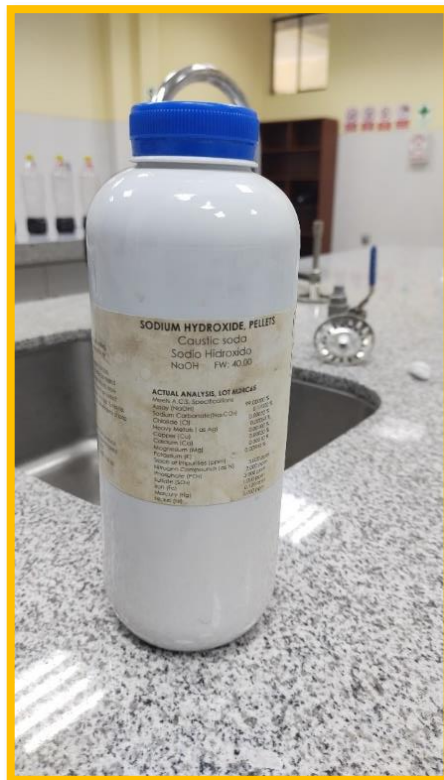


Figura C.13: La figura muestra el reactivo indicador azul de bromotimol, utilizado durante la titulación para la determinación de la acidez de la chicha de jora. Este indicador permite visualizar el punto final de la reacción mediante un cambio de color preciso y confiable.



Figura C.14: Las muestras de chicha de jora se almacenaron a 2 °C para preservar sus características fisicoquímicas y microbiológicas, asegurando la estabilidad del producto durante el análisis de vida útil



Figura C.15: El grado alcohólico de la chicha de jora se determinó mediante picnometría, midiendo la densidad de las muestras para calcular la concentración de alcohol presente en el producto.



Figura C.16: El contenido de alcohol de la chicha de jora se corroboró utilizando un alcoholímetro, asegurando la precisión de la graduación alcohólica registrada durante la fermentación.



Anexo D

Resultados experimentales de laboratorio

Tabla D.1: Datos de acidez total (%)

		Dia1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7
M1	R1	1.80%	1.80%	3.60%	4.50%	5.40%	4.50%	5.40%
M2		1.35%	2.70%	3.15%	3.60%	4.50%	4.05%	5.40%
M3		1.80%	2.29%	3.15%	3.60%	4.50%	4.05%	5.40%
M4		2.25%	2.25%	3.60%	4.50%	4.50%	3.60%	4.95%
M1	R2	1.35%	2.70%	3.60%	4.50%	4.50%	4.05%	4.50%
M2		1.80%	2.70%	4.50%	3.60%	4.50%	4.50%	5.40%
M3		1.53%	2.70%	4.05%	4.50%	4.95%	4.05%	5.40%
M4		2.70%	2.70%	3.60%	3.60%	4.50%	4.05%	5.40%
M1	R3	0.90%	2.70%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%	4.05%
M2		1.62%	3.60%	3.60%	3.60%	4.50%	4.50%	3.60%
M3		1.80%	3.15%	4.05%	4.50%	4.50%	4.50%	4.05%
M4		1.80%	2.70%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%	3.60%

Tabla D.2: Datos de pH

		Dia 1	Dia2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7
M1	R1	5.458	4.310	3.979	3.706	3.648	3.712	3.864
M2		5.467	4.334	4.100	3.902	3.822	3.822	3.913
M3		5.509	4.586	4.154	3.994	3.887	3.853	3.854
M4		5.478	4.636	4.240	4.025	3.932	3.913	3.935
M1	R2	5.431	4.069	3.952	3.758	3.762	3.697	3.746
M2		5.442	4.301	4.061	3.804	3.811	3.814	3.803
M3		5.423	4.396	4.180	3.974	3.868	3.903	3.920
M4		5.442	4.468	4.250	4.012	3.908	3.971	3.951
M1	R3	5.348	4.132	3.840	3.801	3.695	3.748	3.751
M2		5.353	4.189	3.894	3.785	3.764	3.781	3.803
M3		5.433	4.342	4.015	3.893	3.852	3.856	3.894
M4		5.455	4.463	4.147	3.955	3.865	3.903	3.934

Tabla D.3: Datos de °Brix

		Dia1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7
M1	R1	14.50	11.40	8.20	5.50	4.40	4.40	4.40
M2		14.80	11.00	8.10	5.30	4.30	4.30	4.20
M3		14.50	10.80	8.30	6.10	4.60	4.80	4.40
M4		15.50	11.20	8.30	6.10	5.00	4.60	4.70
M1	R2	14.90	10.30	8.10	4.90	4.40	3.80	4.40
M2		15.30	10.50	7.80	5.40	4.60	4.60	4.50

M3		15.20	10.80	7.50	5.90	4.90	4.10	4.60
M4		15.20	11.10	8.10	6.00	5.00	5.00	4.70
M1	R3	15.80	11.00	9.00	5.20	4.70	4.70	4.60
M2		15.10	10.70	9.10	5.30	4.30	4.90	4.20
M3		14.70	11.20	8.00	5.40	4.60	5.10	4.20
M4		15.60	11.40	8.00	6.00	5.00	5.10	4.80

Tabla D.4: Datos de viscosidad

		Dia 1			Dia 2			Dia 3			Dia 4			Dia 5			Dia 6			Dia 7		
		V (cp)	%	T°C	V (cp)	%	T°C	V (cp)	%	T°C	V (cp)	%	T°C	V (cp)	%	T°C	V (cp)	%	T°C	V (cp)	%	T°C
M1	R1	4.6	1.5	20.9	6.0	2.7	16.9	6.2	2.3	16.9	6.3	2.1	16.8	5.2	1.5	16.5	5.1	1.7	16.8	4.5	1.5	16.9
M2		4.9	1.6	22.1	7.6	2.5	17.1	5.8	1.9	16.9	7.0	2.3	16.8	5.2	1.7	16.7	5.2	1.7	16.8	4.5	1.5	16.9
M3		5.2	1.7	21.0	7.9	2.6	17.1	5.9	2.0	16.9	6.7	2.2	16.8	6.5	2.2	16.7	5.4	1.8	16.9	4.7	1.6	16.7
M4		5.5	1.8	20.1	7.0	2.3	16.9	7.5	2.6	16.9	6.6	2.2	16.8	6.0	1.9	16.7	5.3	1.8	16.9	4.7	1.6	16.9
M1	R2	5.5	1.8	22.0	5.0	1.7	17.3	6.0	2.3	17.2	5.3	2.1	16.9	5.5	1.5	16.8	4.9	1.6	16.9	4.5	1.5	16.8
M2		5.6	1.9	20.9	5.6	1.9	17.5	6.9	2.3	17.4	5.3	1.8	17.0	5.9	2.0	16.8	4.9	1.6	17.0	4.6	1.5	16.7
M3		5.8	1.9	21.0	6.8	2.3	17.6	7.1	2.4	17.3	5.3	1.8	17.2	6.0	2.0	16.9	5.3	1.8	17.0	4.6	1.5	16.6
M4		5.6	1.9	20.9	6.9	2.3	17.6	6.4	2.1	17.0	6.6	2.2	16.9	6.0	2.0	16.8	5.4	1.8	17.0	4.5	1.5	17.1
M1	R3	5.1	1.7	20.2	6.8	2.3	17.2	5.8	2.2	17.0	5.8	2.3	17.1	5.0	1.4	16.8	5.8	2.0	17.0	4.9	1.6	17.4
M2		5.3	1.8	20.6	5.9	2.0	17.6	5.8	1.9	17.2	5.8	1.9	17.1	5.5	1.7	16.9	5.9	2.0	17.1	5.2	1.7	17.5
M3		5.4	1.8	20.6	6.0	2.0	17.6	7.1	2.4	17.3	6.7	2.2	17.2	6.3	2.1	16.8	6.0	2.0	17.1	5.1	1.7	17.5
M4		5.6	1.8	20.0	6.3	2.1	17.6	7.5	2.5	17.2	6.3	2.1	17.1	7.1	2.4	16.8	5.8	1.9	17.2	4.5	1.5	17.6

Tabla D.5: Datos de color

	380	390	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720
M1	4.7	4.84	4.743	5.074	4.759	5.173	4.95	4.789	5.091	4.786	4.83	4.856	4.871	4.742	4.796	4.705	4.521	4.442	4.288	4.116	3.967	3.751	3.529	3.29	3.071	2.868	2.69	2.563	2.456	2.375	2.309	2.254	2.208	2.17	2.135
M2	4.577	4.875	4.992	5.075	4.722	5.12	5.078	5.144	4.888	4.88	4.826	4.832	4.737	4.725	4.905	4.808	4.749	4.639	4.579	4.46	4.275	4.043	3.824	3.587	3.354	3.145	2.96	2.824	2.711	2.622	2.553	2.495	2.442	2.402	2.365
M3	4.7	4.865	4.711	4.985	5.137	5.173	5.186	4.976	5.09	4.88	4.696	4.836	4.871	4.85	4.989	5.129	5.189	5.193	5.057	4.898	5.084	4.767	4.686	4.387	4.141	3.872	3.644	3.469	3.316	3.195	3.098	3.014	2.945	2.887	2.833
M4	4.7	4.874	4.991	5.074	5.137	5.17	5.182	5.163	5.04	4.88	4.83	4.889	4.871	4.85	5.028	5.129	5.189	5.227	5.255	5.28	5.296	5.008	4.857	4.691	4.395	4.082	3.852	3.682	3.512	3.379	3.274	3.182	3.097	3.032	2.976
M1	4.406	4.587	4.957	4.921	5.232	4.931	5.012	4.958	4.931	4.8	4.964	5.02	5.001	4.978	5.153	5.25	5.309	5.344	5.238	5.059	4.677	4.395	4.095	3.783	3.516	3.29	3.11	2.986	2.888	2.813	2.76	2.714	2.678	2.648	2.62
M2	4.866	5.037	5.151	5.192	5.266	5.322	5.332	4.853	5.199	5.017	4.637	4.752	4.642	4.777	4.878	4.882	4.886	4.936	4.703	4.582	4.354	4.11	3.852	3.571	3.327	3.118	2.946	2.827	2.733	2.662	2.607	2.56	2.527	2.495	2.466
M3	4.866	5.037	4.83	5.153	5.095	5.306	5.154	5.175	4.816	4.925	4.964	5.021	5.001	4.978	5.153	5.251	5.309	5.344	5.245	5.102	4.85	4.659	4.331	4.036	3.758	3.525	3.324	3.189	3.076	2.99	2.925	2.869	2.819	2.782	2.748
M4	4.766	4.912	4.87	5.231	5.29	5.18	5.06	5.145	5.23	5.017	4.964	5.021	5.001	4.978	5.153	5.251	5.309	5.344	5.369	5.252	5.026	4.703	4.393	4.087	3.818	3.571	3.371	3.231	3.115	3.028	2.959	2.899	2.846	2.805	2.767
M1	4.855	4.944	5.14	5.22	5.279	5.312	5.1	5.296	5.22	5.008	4.688	4.826	4.944	4.838	5.034	4.843	4.795	4.798	4.616	4.455	4.226	3.994	3.759	3.502	3.282	3.097	2.944	2.842	2.76	2.699	2.652	2.613	2.582	2.556	2.531
M2	4.855	5.026	5.14	5.219	5.279	5.174	5.322	5.292	4.927	5.007	4.867	4.831	4.83	4.676	4.741	4.793	4.735	4.606	4.479	4.3	4.136	3.915	3.691	3.469	3.269	3.101	2.962	2.869	2.792	2.737	2.692	2.656	2.626	2.601	2.577
M3	4.855	5.026	4.822	5.039	4.99	5.312	5.323	5.296	5.14	5.007	4.955	5.012	4.993	4.969	5.145	5.243	5.301	5.336	4.969	4.766	4.614	4.322	4.085	3.817	3.588	3.391	3.228	3.114	3.023	2.953	2.899	2.851	2.813	2.783	2.756
M4	4.629	5.025	5.139	5.219	5.279	5.194	5.322	5.296	5.22	4.656	4.955	4.922	4.992	4.969	5.016	5.168	5.114	4.936	4.835	4.659	4.429	4.199	3.989	3.742	3.531	3.345	3.191	3.082	2.995	2.924	2.873	2.829	2.726	2.391	2.386
M1	4.856	5.026	5.14	5.22	5.279	5.312	5.322	5.296	5.22	5.007	4.955	5.004	4.991	4.969	5.144	5.089	5.027	4.864	4.634	4.396	4.187	3.964	3.73	3.494	3.288	3.117	2.977	2.884	2.808	2.753	2.711	2.676	2.646	2.622	2.6
M2	4.855	4.922	5.091	5.219	4.92	5.176	4.975	4.777	4.642	4.494	4.527	4.564	4.557	4.559	4.756	4.6	4.533	4.461	4.365	4.174	4.011	3.818	3.62	3.416	3.238	3.089	2.967	2.884	2.817	2.767	2.728	2.695	2.671	2.649	2.629
M3	4.855	5.026	5.14	5.219	5.279	5.228	5.172	5.201	5.22	4.946	4.836	4.75	4.803	4.6	4.759	4.631	4.619	4.532	4.374	4.238	4.06	3.881	3.686	3.483	3.305	3.15	3.023	2.936	2.865	2.812	2.771	2.736	2.7	2.348	2.301
M4	4.609	4.987	5.139	4.867	4.919	4.751	4.607	4.616	4.549	4.502	4.608	4.485	4.538	4.386	4.483	4.401	4.29	4.188	4.071	3.927	3.773	3.599	3.426	3.251	3.093	2.959	2.849	2.774	2.715	2.668	2.632	2.603	2.579	2.558	2.539
M1	4.706	4.88	4.997	5.08	5.142	5.178	5.191	5.167	5.094	4.883	4.834	4.893	4.875	4.852	4.998	5.008	4.803	4.726	4.489	4.301	4.07	3.851	3.623	3.388	3.195	3.031	2.899	2.81	2.74	2.689	2.649	2.617	2.589	2.567	2.55
M2	4.655	4.678	4.931	4.81	4.992	4.639	4.849	4.707	5.02	4.471	4.805	4.893	4.743	4.789	4.666	4.61	4.476	4.427	4.254	4.092	3.935	3.734	3.536	3.338	3.158	3.01	2.888	2.809	2.743	2.695	2.658	2.627	2.602	2.582	2.563
M3	4.706	4.88	4.997	5.08	5.142	5.178	5.191	5.167	5.093	4.883	4.834	4.745	4.848	4.671	4.849	4.838	4.751	4.746	4.589	4.362	4.25	4.017	3.826	3.605	3.412	3.248	3.11	3.014	2.86	2.272	2.146	2.073	2.363	2.338	2.281
M4	4.705	4.879	4.996	5.079	5.142	5.16	5.19	5.166	5.093	4.882	4.833	4.892	4.875	4.803	4.999	4.82	4.795	4.787	4.658	4.465	4.328	4.124	3.918	3.71	3.513	3.342	3.199	3.099	3.02	2.957	2.91	2.874	2.84	2.812	2.789
M1	4.846	4.905	5.131	5.138	4.903	4.623	4.537	4.488	4.307	4.231	4.301	4.251	4.199	4.15	4.187	4.12	4.027	3.876	3.721	3.542	3.352	3.149	2.952	2.754	2.583	2.441	2.326	2.249	2.186	2.139	2.101	2.071	2.045	2.022	2
M2	4.845	4.773	4.972	4.702	4.536	4.405	4.249	4.18	4.046	3.99	3.939	3.893	3.871	3.823	3.801	3.746	3.6																		

Tabla D.6: Densidad de masa residual

		Dia1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7
		Dia 0	Dia1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6
M1	R1	1.0593	1.0312	0.9991	0.9783	0.9872	0.9973	1.0042
M2		1.0612	1.0365	0.9954	1.0039	0.9941	1.0059	1.0079
M3		1.0589	1.0420	1.0063	1.0089	1.0090	1.0070	1.0087
M4		1.0638	1.0437	1.0100	1.0109	1.0056	1.0074	1.0098
M1	R2	1.0591	1.0359	1.0150	1.0020	1.0024	0.9904	1.0027
M2		1.0633	1.0347	1.0182	1.0094	1.0038	1.0021	1.0053
M3		1.0640	1.0351	1.0225	1.0122	1.0029	1.0071	1.0085
M4		1.0633	1.0361	1.0241	1.0143	1.0009	1.0075	1.0087
M1	R3	1.0627	1.0354	1.0125	1.0126	0.9922	1.0000	1.0008
M2		1.0620	1.0413	1.0178	1.0125	0.9986	1.0004	1.0051
M3		1.0640	1.0346	1.0279	1.0139	1.0035	1.0068	1.0076
M4		1.0637	1.0389	1.0273	1.0170	1.0041	1.0070	1.0082

Tabla D.7: Evaluación sensorial

Jueces	Tratamiento	Color	Sabor	Olor	Textura	Apariencia general
1	428	5	5	3	4	4
1	915	5	4	4	4	4
1	637	5	4	3	4	4
1	582	5	5	5	4	4
2	428	4	5	4	3	4
2	915	4	3	3	3	4
2	637	4	5	3	4	4
2	582	4	3	4	4	4
3	428	5	5	5	5	5
3	915	5	4	4	4	5
3	637	4	4	4	4	4
3	582	5	4	5	5	5
4	428	5	5	5	5	5
4	915	5	4	4	5	5
4	637	5	5	5	5	5
4	582	5	5	5	5	5
5	428	4	3	4	4	4
5	915	4	3	3	4	4
5	637	4	3	3	4	4
5	582	3	2	4	4	3
6	428	4	4	4	4	4
6	915	4	3	4	4	4
6	637	4	4	4	4	5
6	582	4	4	4	4	4
7	428	4	5	5	5	4
7	915	4	4	4	5	3
7	637	4	4	3	4	4
7	582	3	3	5	4	4
8	428	4	2	4	3	4
8	915	4	2	4	2	2
8	637	4	3	3	4	3
8	582	4	2	2	3	2
9	428	1	2	2	4	2
9	915	4	2	5	5	4
9	637	4	3	4	5	4
9	582	4	3	2	4	3
10	428	4	5	2	4	4

10	915	4	5	4	4	4
10	637	4	5	4	4	4
10	582	4	5	3	4	4
11	428	4	4	3	4	4
11	915	4	5	4	5	5
11	637	5	4	4	3	4
11	582	5	5	4	4	5
12	428	5	3	3	4	3
12	915	5	5	3	5	4
12	637	4	4	4	5	5
12	582	4	4	4	4	4
13	428	5	1	2	4	3
13	915	5	5	5	5	5
13	637	3	2	2	3	2
13	582	1	1	1	1	1
14	428	4	4	3	3	4
14	915	4	4	4	4	5
14	637	4	4	3	3	2
14	582	4	3	4	2	3
15	428	3	4	4	3	3
15	915	3	3	3	3	3
15	637	3	3	2	3	3
15	582	3	3	2	3	3
16	428	3	2	1	3	2
16	915	4	1	3	3	3
16	637	4	4	3	4	4
16	582	2	2	2	2	2
17	428	4	2	2	4	3
17	915	4	2	3	4	3
17	637	4	4	3	4	4
17	582	4	2	3	3	3
18	428	4	3	3	4	4
18	915	4	4	3	3	4
18	637	4	4	3	4	4
18	582	4	4	4	4	4
19	428	4	3	4	4	4
19	915	4	3	4	3	4
19	637	4	4	4	4	4
19	582	4	4	4	4	4
20	428	4	4	3	4	4
20	915	4	4	2	4	4
20	637	3	5	4	4	4
20	582	3	4	3	4	4
21	428	4	4	3	4	4
21	915	5	4	1	4	5
21	637	4	3	3	3	4
21	582	5	5	4	4	4
22	428	4	5	5	4	5
22	915	4	5	5	3	4
22	637	5	5	4	5	4
22	582	5	4	5	4	4
23	428	4	4	5	4	4
23	915	3	3	3	4	4
23	637	5	5	4	5	5
23	582	4	3	4	4	4
24	428	2	2	2	3	2
24	915	3	2	1	4	3
24	637	3	3	3	4	3
24	582	2	2	2	2	2
25	428	4	4	4	4	4
25	915	3	3	4	2	4
25	637	4	4	3	4	5
25	582	4	4	4	4	5
26	428	4	3	3	3	3
26	915	4	5	4	5	5
26	637	4	3	3	4	4
26	582	4	4	3	4	4

27	428	4	3	2	3	3
27	915	4	4	3	4	4
27	637	4	5	4	4	5
27	582	4	3	3	3	4
28	428	5	4	4	4	2
28	915	5	3	3	3	4
28	637	4	4	2	3	5
28	582	5	4	3	3	4
29	428	4	4	3	2	4
29	915	3	4	4	3	4
29	637	1	3	4	4	2
29	582	4	3	2	3	3
30	428	4	4	3	3	2
30	915	3	3	3	4	2
30	637	3	4	2	4	1
30	582	4	2	3	4	2
31	428	3	4	3	3	5
31	915	4	4	3	3	4
31	637	4	5	3	4	4
31	582	4	3	2	3	4
32	428	4	4	4	4	4
32	915	5	5	3	5	4
32	637	5	4	4	4	4
32	582	5	4	4	4	4
33	428	5	5	2	4	4
33	915	3	3	2	2	4
33	637	4	4	4	4	4
33	582	5	4	3	4	5
34	428	4	5	3	3	4
34	915	4	4	3	4	4
34	637	4	5	4	4	4
34	582	4	3	3	3	3
35	428	5	4	4	4	4
35	915	5	4	5	4	5
35	637	4	5	5	5	5
35	582	5	4	5	5	5
36	428	5	5	5	5	5
36	915	5	5	4	5	5
36	637	5	5	5	5	5
36	582	5	5	5	5	5
37	428	4	3	4	4	4
37	915	5	2	4	4	4
37	637	4	3	3	4	4
37	582	3	2	4	4	3
38	428	4	4	3	4	4
38	915	4	2	2	2	2
38	637	4	4	3	4	4
38	582	4	2	3	2	3
39	428	2	3	1	3	3
39	915	3	2	3	4	3
39	637	3	2	4	4	3
39	582	3	3	3	4	3
40	428	4	4	3	4	3
40	915	3	4	3	4	4
40	637	4	4	2	4	4
40	582	4	4	4	4	4
41	428	5	1	2	5	3
41	915	5	5	5	5	5
41	637	3	1	1	2	1
41	582	1	1	1	1	1
42	428	4	3	2	3	3
42	915	5	5	4	4	5
42	637	3	3	3	2	2
42	582	3	3	3	2	4
43	428	3	3	2	3	3
43	915	3	4	3	3	3
43	637	3	2	2	2	2

43	582	3	4	3	3	3
44	428	2	2	2	2	2
44	915	4	2	2	3	2
44	637	4	3	4	4	3
44	582	1	1	2	1	2
45	428	4	2	2	4	3
45	915	3	3	3	4	3
45	637	4	5	2	4	4
45	582	4	2	3	3	3
46	428	4	3	4	4	4
46	915	3	4	4	4	4
46	637	5	4	4	4	4
46	582	4	4	4	3	4
47	428	4	3	4	4	4
47	915	4	3	4	3	4
47	637	5	4	4	3	4
47	582	4	4	4	4	4
48	428	4	4	3	4	4
48	915	4	4	3	4	4
48	637	3	4	3	3	4
48	582	4	4	4	4	4
49	428	4	4	3	4	4
49	915	5	5	2	4	5
49	637	4	5	4	4	4
49	582	5	5	4	5	5
50	428	4	4	5	3	4
50	915	3	3	3	4	4
50	637	4	5	4	5	5
50	582	4	3	4	3	4

Tabla D.8: Determinación de antocianinas

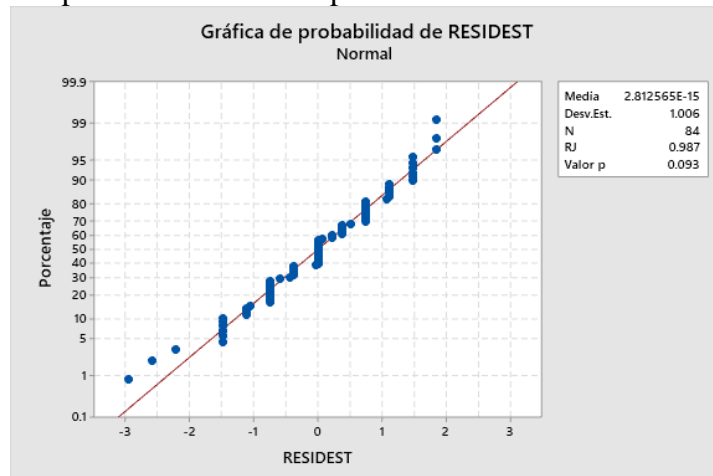
Tratamiento	Tiempo	Réplica	Abs 520 (pH 1.0)	Abs 700 (pH 1.0)	Abs 520 (pH 4.5)	Abs 700 (pH 4.5)	A	mg/L C3G	mg/100mL C3G
0%	Inicio	1	0.98	0.039	0.646	0.016	0.311	51.93	5.19
0%	Inicio	2	0.662	0.013	0.34	0.034	0.343	57.28	5.73
0%	Inicio	3	0.883	0.011	0.564	0.043	0.351	58.61	5.86
0%	Final	1	0.673	0.017	0.494	0.032	0.194	32.40	3.24
0%	Final	2	0.772	0.022	0.606	0.016	0.16	26.72	2.67
0%	Final	3	0.717	0.025	0.544	0.041	0.189	31.56	3.16
10%	Inicio	1	0.806	0.034	0.468	0.034	0.338	56.44	5.64
10%	Inicio	2	0.668	0.013	0.366	0.049	0.338	56.44	5.64
10%	Inicio	3	0.923	0.021	0.587	0.038	0.353	58.95	5.89
10%	Final	1	0.649	0.031	0.436	0.046	0.228	38.07	3.81
10%	Final	2	0.703	0.036	0.502	0.031	0.196	32.73	3.27
10%	Final	3	0.819	0.017	0.643	0.042	0.201	33.56	3.36

Anexo E

Análisis estadístico de los resultados

E.1 Acidez

Figura E.1 Gráfica de probabilidad normal para la acidez



Utilizada para evaluar el supuesto de normalidad. Los puntos siguen aproximadamente la línea recta de referencia, lo que indica un comportamiento cercano a la distribución normal. El valor $p = 0.093$ sugiere que no se rechaza la hipótesis de normalidad de los residuos.

Tabla E.1 Prueba de homogeneidad de varianzas (Bartlett).

Método	Estadística de prueba	Valor p
Bartlett	15.62	0.871

Evaluación de la igualdad de varianzas entre los grupos analizados.

Figura E.2 Gráfica de igualdad de varianzas para la acidez

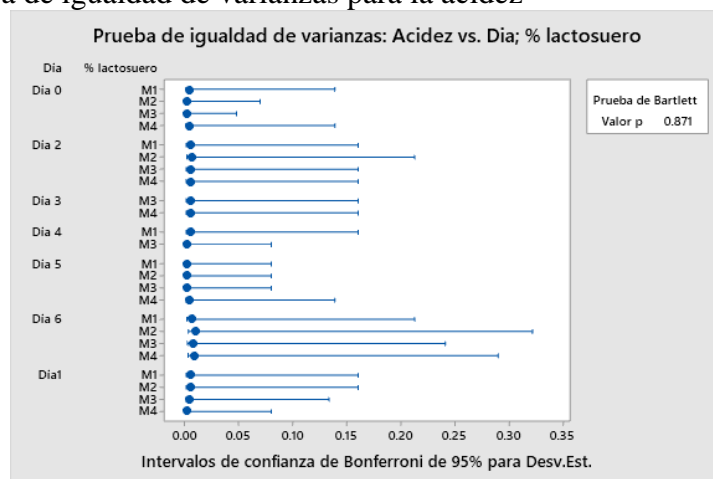


Tabla E.2 Análisis de Varianza para la acidez

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
suero(%)	3	0.000003	0.000001	0.14	0.935
Tiempo (días)	6	0.002967	0.000494	71.81	0.000

Error	18	0.000124	0.000007		
Total	27	0.003094			

E.2 pH

Figura E.3 Gráfica de probabilidad normal para el pH

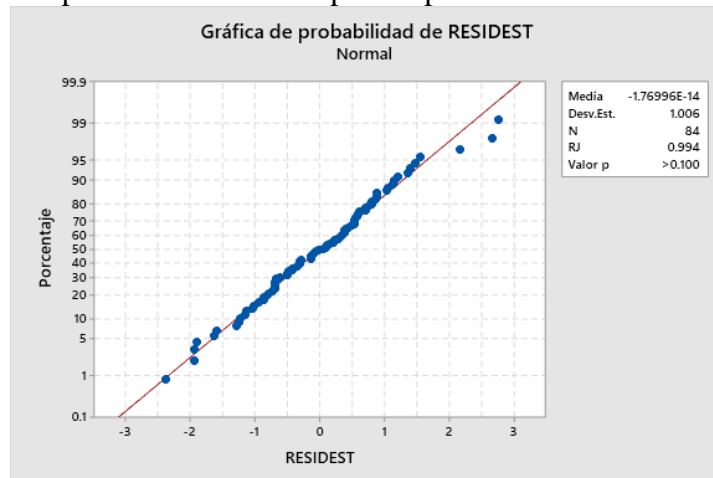


Tabla E.3 Análisis de Varianza para el pH

Método	Estadística de prueba	Valor p
Bartlett	29.20	0.351

Figura E.4 Gráfica de prueba de igualdad de varianzas para el pH

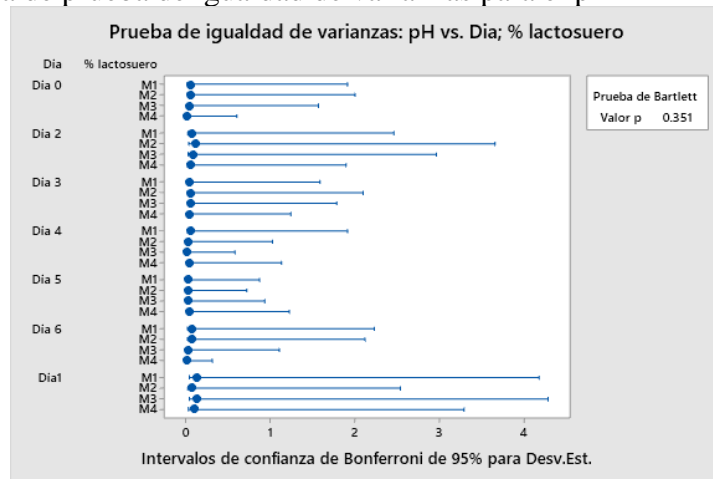


Tabla E.4 Análisis de Varianza para el pH

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
suero (%)	3	0.18588	0.06196	31.07	0.000
Tiempo (días)	6	8.24467	1.37411	689.12	0.000
Error	18	0.03589	0.00199		
Total	27	8.46645			

Tabla E.5 Comparaciones por parejas de Tukey: suero (%). Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

suero (%)	N	Media	Agrupación
15% Suero	7	4.28000	A
10% Suero	7	4.22786	A
5% Suero	7	4.14129	B
0% Suero	7	4.06700	C

E.3 °Brix

Figura E.5 Gráfica de probabilidad normal para el °Brix

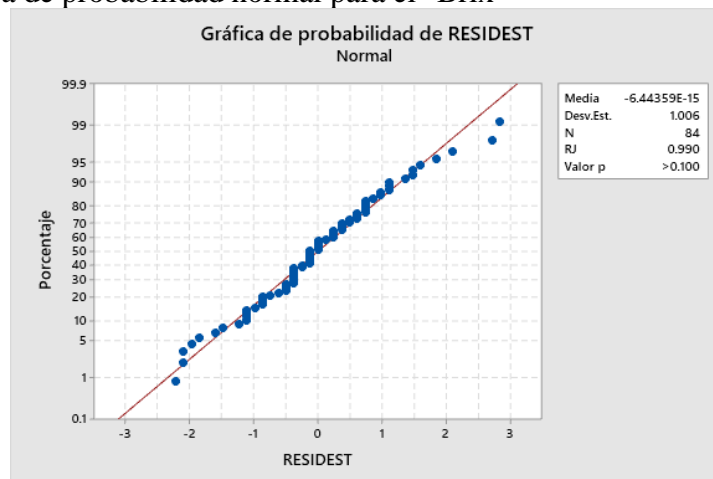


Tabla E.6 Análisis de Varianza para el °Brix

Método	Estadística de prueba	Valor p
Bartlett	33.11	0.159

Figura E.6 Gráfica de prueba de igualdad de varianzas para el °Brix

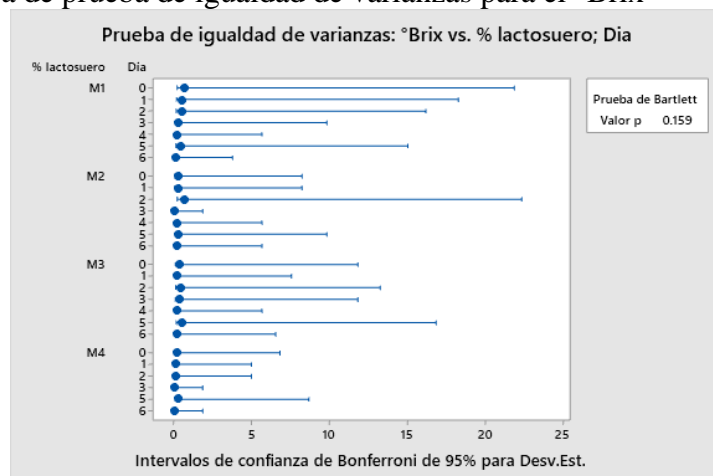


Tabla E.7 Análisis de Varianza para el °Brix

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
suero(%)	3	0.685	0.2284	5.52	0.007
Tiempo (días)	6	396.370	66.0617	1596.34	0.000
Error	18	0.745	0.0414		
Total	27	397.800			

Tabla E.8 Comparaciones por parejas de Tukey: suero (%), agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

suero(%)	N	Media	Agrupación	
15% Suero	7	7.92143	A	
10% Suero	7	7.60429		B
0% Suero	7	7.55286		B
5% Suero	7	7.53714		B

E.4 Viscosidad

Figura E.7 Gráfica de probabilidad normal para la viscosidad

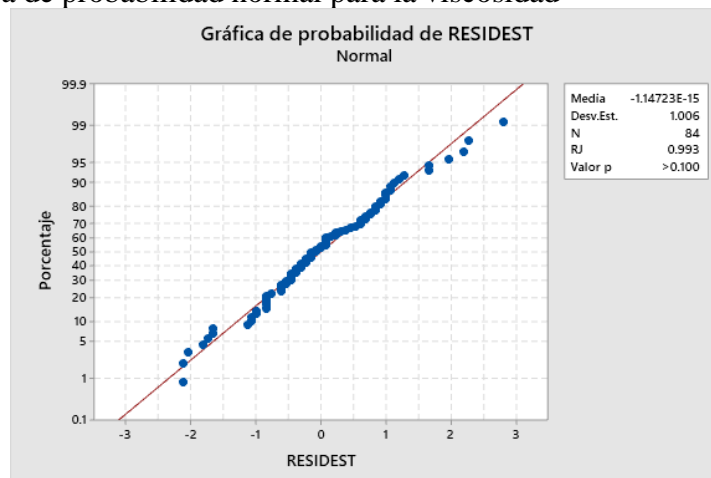


Tabla E.9 Análisis de Varianza para el pH

Método	Estadística de prueba	Valor p
Bartlett	31.25	0.261

Figura E.8 Gráfica de prueba de igualdad de varianzas para la viscosidad

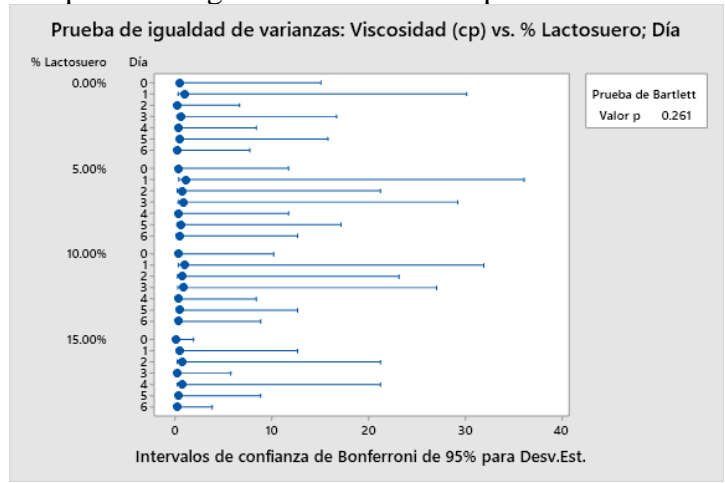


Tabla E.10 Análisis de Varianza para la viscosidad

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
suero(%)	3	1.8817	0.62724	12.52	0.000
Tiempo (días)	6	10.6289	1.77148	35.35	0.000
Error	18	0.9019	0.05011		
Total	27	13.4125			

Tabla E.11 Comparaciones por parejas de Tukey: suero (%), agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

suero (%)	N	Media	Agrupación
15% Suero	7	6.05238	A
10% Suero	7	5.99048	A
5% Suero	7	5.63810	B
0% Suero	7	5.41905	B

E.5 Color

Figura E.9 Gráfica de probabilidad normal para L

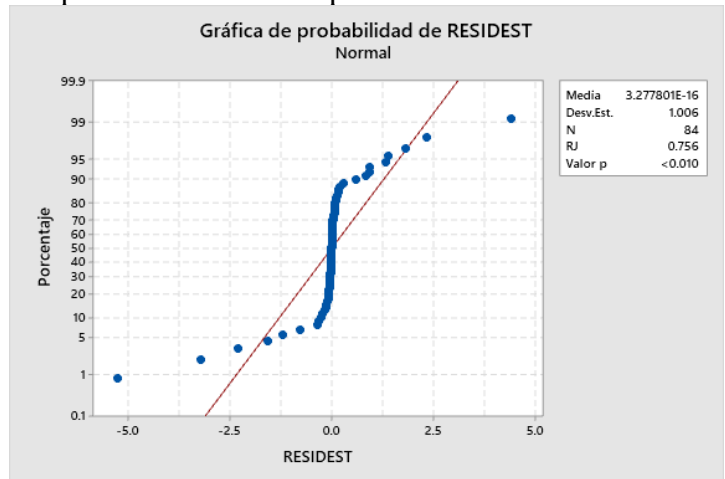


Figura E.10 Gráfica de probabilidad normal para a

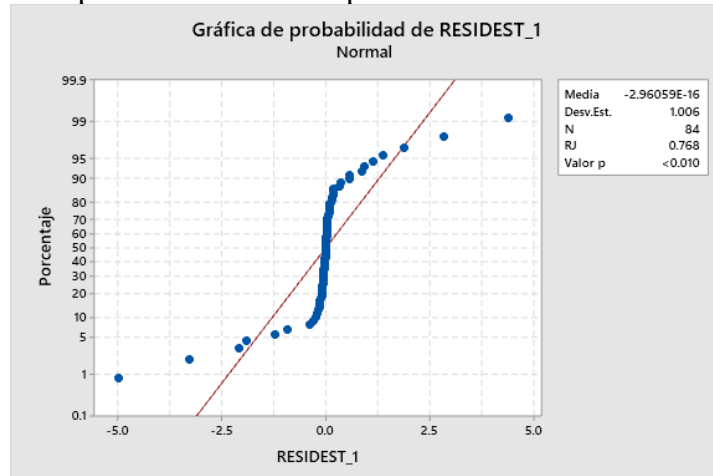


Figura E.11 Gráfica de probabilidad normal para b

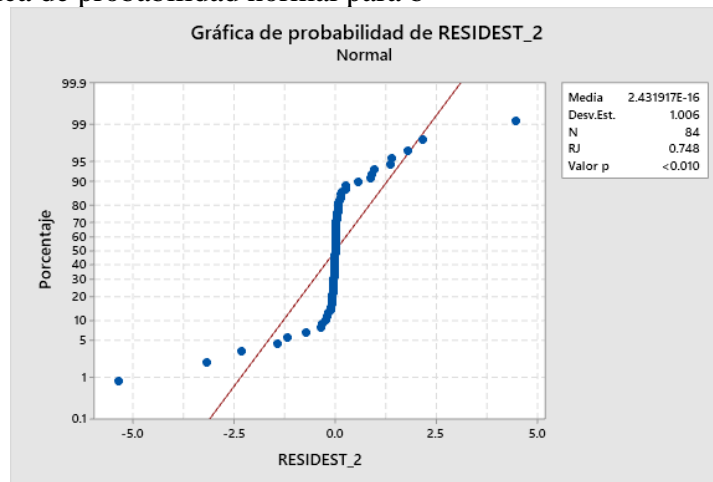


Tabla E.12 Prueba de Friedman para L vs. % lactosuero

GL	Chi-cuadrada	Valor p
3	1.63	0.653

Tabla E.13 Prueba de Friedman para a vs. % lactosuero

GL	Chi-cuadrada	Valor p
3	1.80	0.615

Tabla E.14 Prueba de Friedman para b vs. % lactosuero

GL	Chi-cuadrada	Valor p
3	1.63	0.653

E.6 Densidad de masa residual

Figura E.12 Gráfica de probabilidad normal para densidad de masa residual

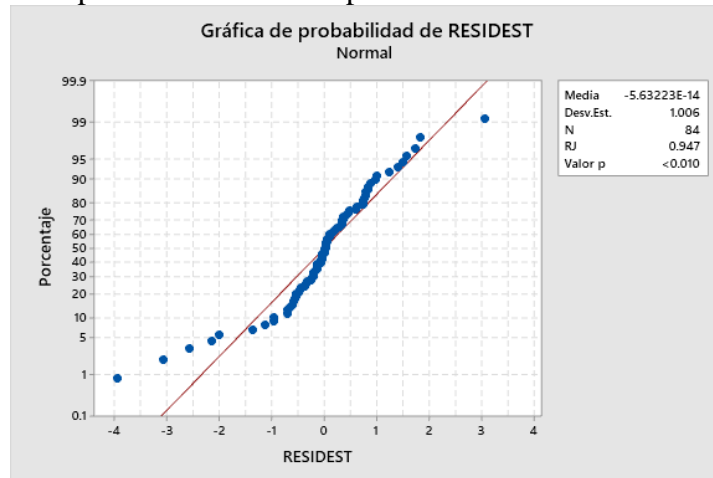


Tabla E.15 Estadísticas descriptivas

% lactosuero	N	Mediana	Suma de clasificaciones
0.00%	7	1.01775	9.0
5.00%	7	1.01900	14.5
10.00%	7	1.02025	20.5
15.00%	7	1.02100	26.0
General	28	1.01950	

Tabla E.16 Prueba de Friedman: Densidad vs. % lactosuero

Método	GL	Chi-cuadrada	Valor p
No ajustado para empates	3	13.93	0.003
Ajustado para empates	3	15.00	0.002

E.7 Alcohol

Figura E.13 Gráfica de probabilidad normal para alcohol

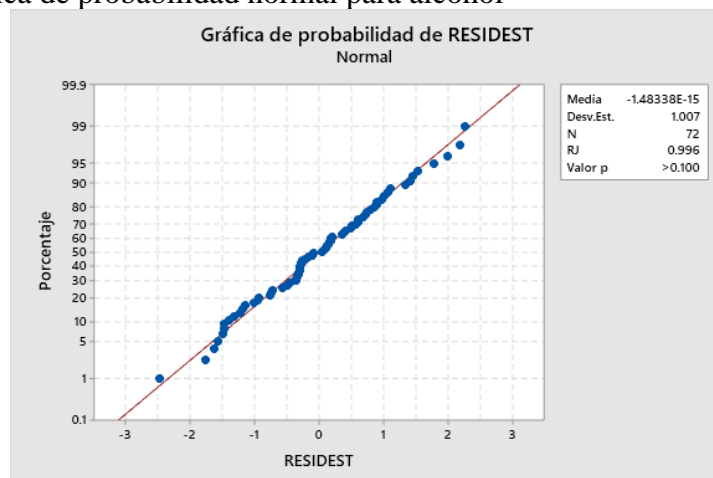


Figura E.14 Gráfica de prueba de igualdad de varianzas para alcohol

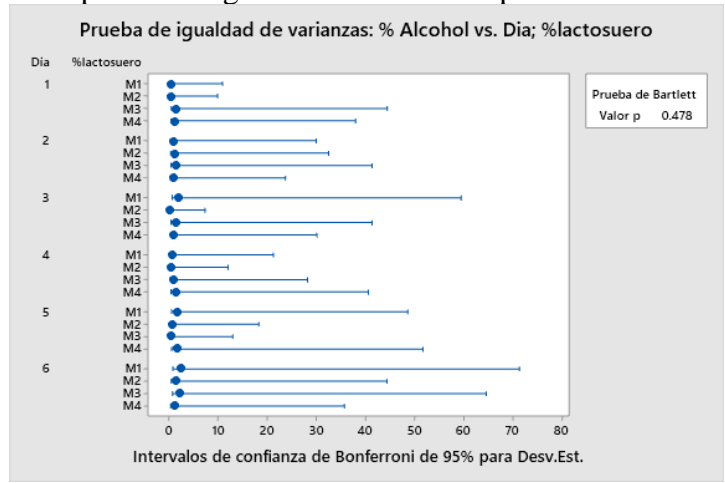


Tabla E.17 Análisis de Varianza para el alcohol

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
%lactosuero	3	1.382	0.461	0.30	0.825
Dia	5	594.036	118.807	77.66	0.000
%lactosuero*Dia	15	8.875	0.592	0.39	0.976
Error	48	73.436	1.530		
Total	71	677.729			

Tabla E.18 Comparaciones por parejas de Tukey: Dia, agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Dia	N	Media	Agrupación			
6	12	11.1109	A			
5	12	10.4027	A	B		
4	12	9.5603		B		
3	12	7.8584			C	
2	12	5.4585				D
1	12	2.9796				E

E.8 Análisis sensorial

Tabla E.19 Prueba de Friedman: Color vs. Tratamiento; Jueces

Método	GL	Chi-cuadrada	Valor p
No ajustado para empates	3	0.13	0.989
Ajustado para empates	3	0.26	0.968

Tabla E.20 Prueba de Friedman: Sabor vs. Tratamiento; Jueces (Estadísticas descriptivas)

Tratamiento	N	Mediana	Suma de clasificaciones
0.00%	50	3.9375	125.0
5.00%	50	3.8125	117.5

10.00%	50	4.0625	146.0
15.00%	50	3.9375	111.5
General	200	3.9375	

Tabla E.21 Prueba Chi-cuadrada

Método	GL	Chi-cuadrada	Valor p
No ajustado para empates	3	8.15	0.043
Ajustado para empates	3	11.85	0.008

Tabla E.22 Prueba de Friedman: Olor vs. Tratamiento; Jueces

Método	GL	Chi-cuadrada	Valor p
No ajustado para empates	3	2.09	0.553
Ajustado para empates	3	2.94	0.401

Tabla E.23 Prueba de Friedman: Textura vs. Tratamiento; Jueces

Método	GL	Chi-cuadrada	Valor p
No ajustado para empates	3	4.36	0.225
Ajustado para empates	3	7.25	0.064

Tabla E.24 Prueba de Friedman: Apariencia general vs. Tratamiento; Jueces

Método	GL	Chi-cuadrada	Valor p
No ajustado para empates	3	3.47	0.324
Ajustado para empates	3	6.53	0.088

E.9 pH sin lactosuero

Figura E.15 Gráfica de probabilidad normal para pH sin lactosuero



Tabla E.25 Análisis de Varianza para el pH sin lactosuero

Método	Estadística de prueba	Valor p
Bartlett	12.33	0.339

Figura E.16 Gráfica de prueba de igualdad de pH sin lactosuero

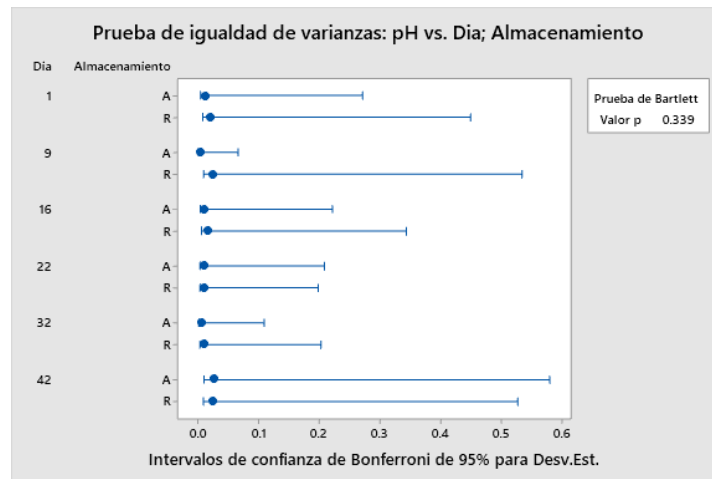


Tabla E.26 Análisis de Varianza para pH sin lactosuero

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Almacenamiento	1	0.041412	0.041412	160.32	0.000
Día	5	0.370522	0.074104	286.89	0.000
Almacenamiento*Día	5	0.395542	0.079108	306.26	0.000
Error	24	0.006199	0.000258		
Total	35	0.813675			

Tabla E.27 Comparaciones para Ph, Comparaciones por parejas de Tukey: almacenamiento, agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Almacenamiento	N	Media	Agrupación
R	18	4.35867	A
A	18	4.29083	B

Tabla E.28 Comparaciones por parejas de Tukey: Día. Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Día	N	Media	Agrupación
9	6	4.41450	A
16	6	4.39850	A
22	6	4.36467	B
1	6	4.33550	C
32	6	4.32633	C
42	6	4.10900	D

E.10 pH con 10% de lactosuero

Figura E.17 Gráfica de probabilidad normal para el pH con 10% de lactosuero

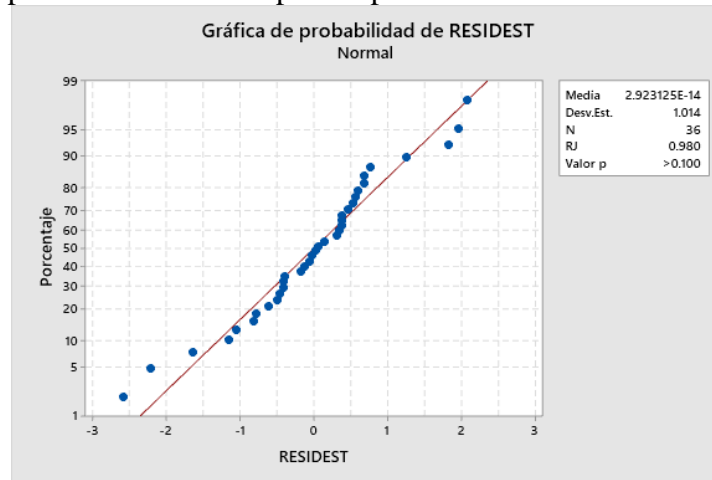


Tabla E.29 Análisis de Varianza para pH con 10% de lactosuero

Método	Estadística de prueba	Valor p
Bartlett	15.72	0.152

Figura E.18 Gráfica de prueba de igualdad de varianzas para pH con 10% de lactosuero

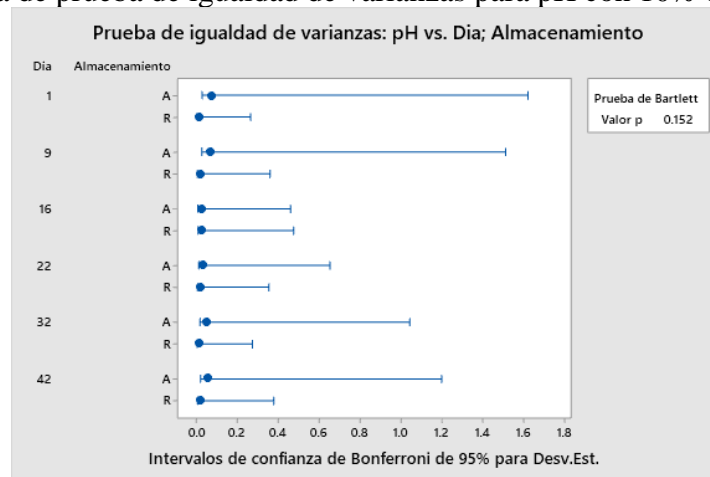


Tabla E.30 Análisis de Varianza para el pH con 10% de lactosuero

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Almacenamiento	1	0.02981	0.029814	19.33	0.000
Día	5	1.84830	0.369661	239.63	0.000
Almacenamiento*Día	5	1.17541	0.235082	152.39	0.000
Error	24	0.03702	0.001543		
Total	35	3.09055			

Tabla E.31 Comparaciones para pH. Comparaciones por parejas de Tukey: Almacenamiento. Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Almacenamiento	N	Media	Agrupación
R	18	4.51644	A
A	18	4.45889	B

Tabla E.32 Comparaciones por parejas de Tukey: Dia. Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Dia	N	Media	Agrupación
1	6	4.68267	A
16	6	4.61250	B
9	6	4.59717	B
32	6	4.54383	B C
22	6	4.49133	C
42	6	3.99850	D

E.11 Acidez total con 0% de lactosuero

Figura E.19 Gráfica de probabilidad normal para Acidez total con 0% de lactosuero

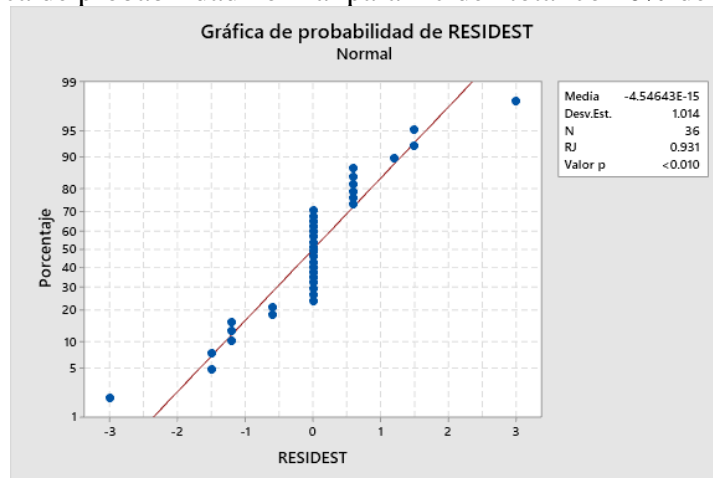


Tabla E.33 Prueba de Kruskal-Wallis: Acidez total vs. T. Almacenamiento

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	11	12.79	0.307
Ajustado para empates	11	20.62	0.038

E.12 Acidez total con 10% de lactosuero

Figura E.20 Gráfica de probabilidad normal para Acidez total con 10% de lactosuero

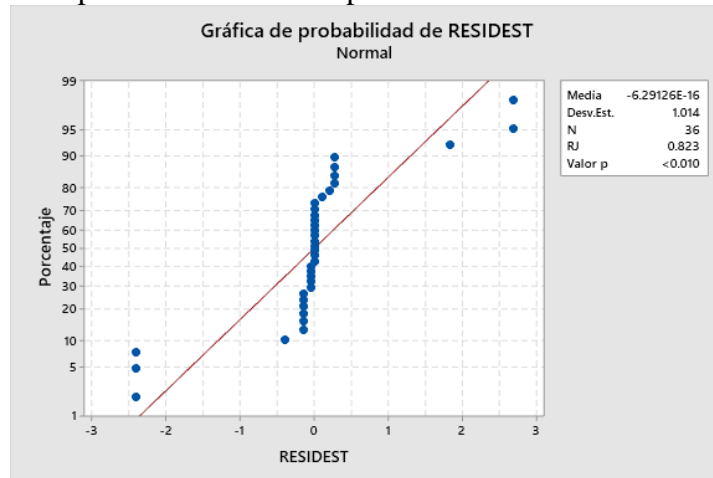


Tabla E.34 Prueba de Kruskal-Wallis: Acidez total vs. T. Almacenamiento

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	11	17.96	0.083
Ajustado para empates	11	28.82	0.002

E.13 Alcohol con 0% de lactosuero

Figura E.21 Gráfica de probabilidad normal para alcohol con 0% de lactosuero

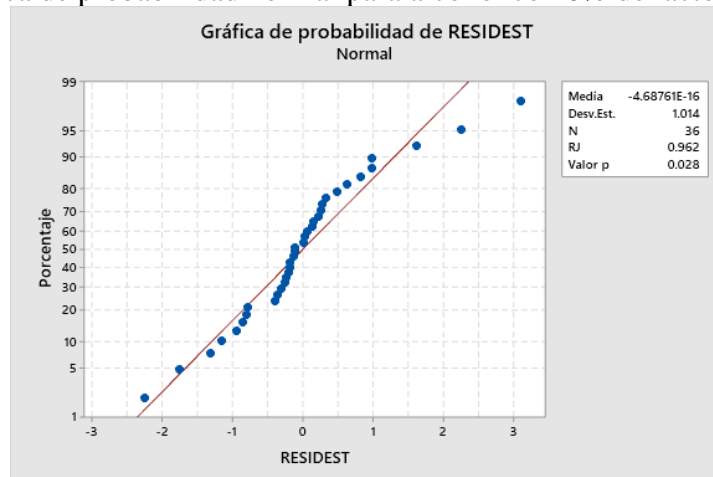


Tabla E.35 Prueba de Kruskal-Wallis: % alcohol vs. T. de Alm.

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	11	27.37	0.004
Ajustado para empates	11	27.38	0.004

E.14 Alcohol con 10% de lactosuero

Figura E.22 Gráfica de probabilidad normal para alcohol con 10% de lactosuero

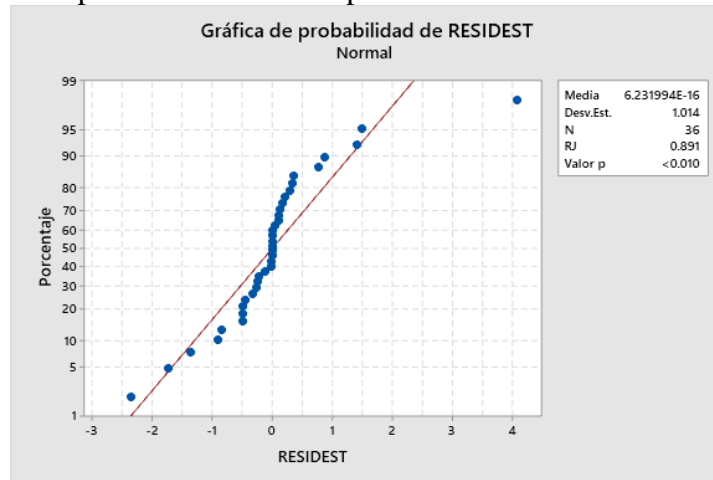


Tabla E.36 Prueba de Kruskal-Wallis: % alcohol vs. T. de Alm.

GL	Valor H	Valor p
11	22.11	0.024

E.15 Antocianinas

Figura E.23 Gráfica de probabilidad normal para antocianinas

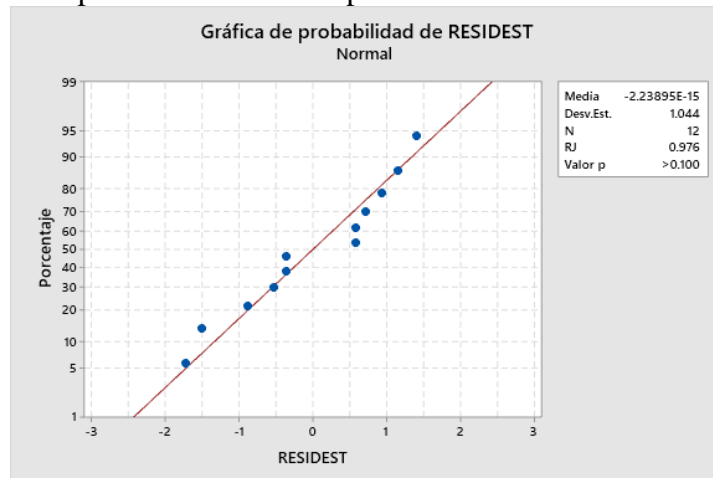


Tabla E.37 Análisis de Varianza para antocianinas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Bartlett	1.21	0.750

Figura E.24 Gráfica de prueba de igualdad de varianzas para antocianinas

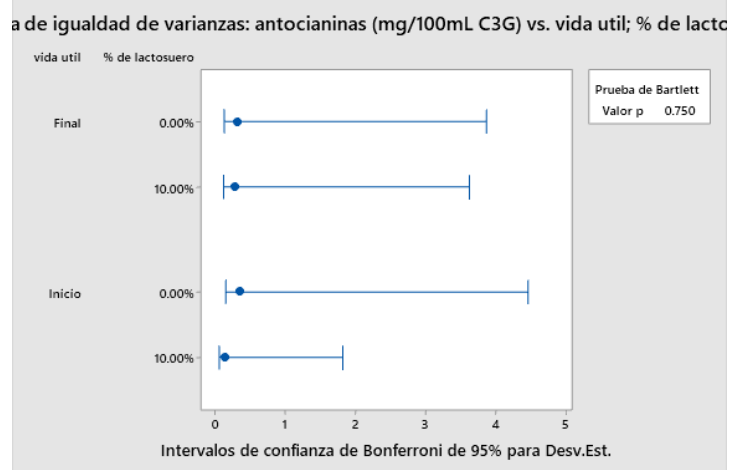


Tabla E.38 Análisis de Varianza para las antocianinas

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
% de lactosuero	1	0.2611	0.2611	3.24	0.110
vida util	1	17.4273	17.4273	216.19	0.000
% de lactosuero*vida util	1	0.0782	0.0782	0.97	0.354
Error	8	0.6449	0.0806		
Total	11	18.4114			

Tabla E.39 Comparaciones por parejas de Tukey: vida útil. Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

vida util	N	Media	Agrupación
Inicio	6	5.66092	A
Final	6	3.25072	B

Tabla E.40 Comparaciones por parejas de Tukey: % de lactosuero*vida útil. Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

% de lactosuero*vida útil	N	Media	Agrupación
10.00% Inicio	3	5.72772	A
0.00% Inicio	3	5.59413	A
10.00% Final	3	3.47893	B
0.00% Final	3	3.02250	B

